

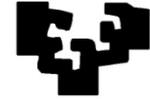
MÓDULO II: CONFORMADO PLÁSTICO DE METALES

TEMA 5: El proceso de forja

TECNOLOGÍA MECÁNICA

DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

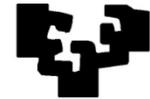
Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea



- 1. Características de los productos forjados**
- 2. Forja libre y forja con estampas**
- 3. Conceptos básicos de diseño de productos forjados**
- 4. Prensas y martillos**
- 5. Simulación por ordenador del proceso de forja**
- 6. Cuestionario tutorizado**
- 7. Oportunidades laborales: empresas y productos**

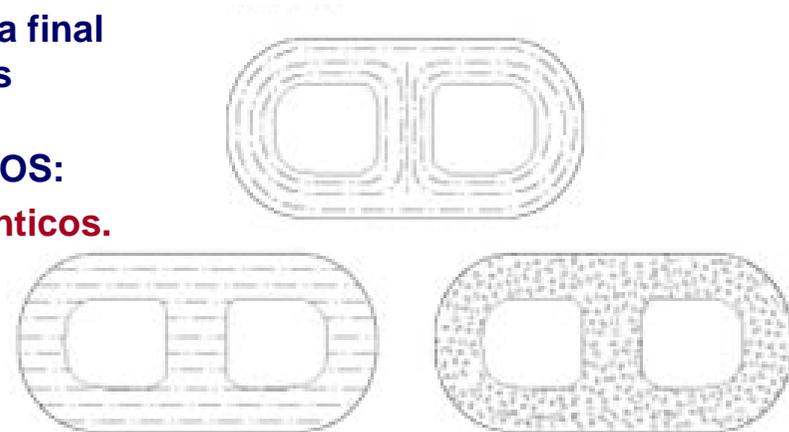


1. Características de los productos forjados

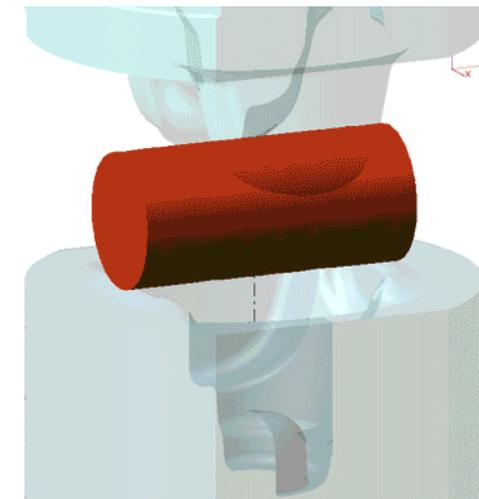


FORJA: deformación controlada de un metal hasta una forma final mediante la aplicación de presión o de impactos sucesivos

- **CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS FORJADOS:**
 - **REPETIBILIDAD: largas series de productos idénticos.**
 - **Excelentes PROPIEDADES MECÁNICAS:**
 - Tenacidad
 - Ductilidad
 - Resistencia a fatiga
 - Resistencia a la corrosión
- gracias a
- la **INTEGRIDAD METALÚRGICA**
 - el **FIBRADO DIRECCIONAL** (siguiendo el contorno de la pieza)
 - **Alta PRODUCTIVIDAD** (nº de piezas/hora).
 - Solo se justifican **SERIES LARGAS** (coste de utillajes y medios de producción).
 - Las cotas y superficies funcionales (**TOLERANCIAS Y ACABADOS SUPERFICIALES**) suelen precisar **MECANIZADO posterior**



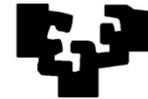
Estructura de grano (fibrado) en un producto FORJADO (arriba), MECANIZADO (izq) y FUNDIDO (dcha)



Proceso de FORJA CON ESTAMPAS



1. Características de los productos forjados



FORJA: deformación controlada de un metal hasta una forma final mediante la aplicación de presión o de impactos sucesivos

- **CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS FORJADOS:**
 - **REPETIBILIDAD: largas series de productos idénticos.**
 - **Excelentes PROPIEDADES MECÁNICAS:**
 - Tenacidad
 - Ductilidad
 - Resistencia a fatiga
 - Resistencia a la corrosión
- gracias a
- la **INTEGRIDAD METALÚRGICA**
 - el **FIBRADO DIRECCIONAL** (siguiendo el contorno de la pieza)
 - **Alta PRODUCTIVIDAD** (nº de piezas/hora).
 - Solo se justifican **SERIES LARGAS** (coste de utillajes y medios de producción).
 - Las cotas y superficies funcionales (**TOLERANCIAS Y ACABADOS SUPERFICIALES**) suelen precisar **MECANIZADO posterior**



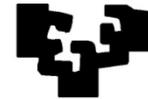
Componentes para la industria del automóvil



Partes de motores de aeronaves



1. Características de los productos forjados



FORJA: deformación controlada de un metal hasta una forma final mediante la aplicación de presión o de impactos sucesivos

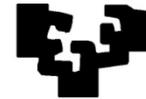
- **CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS FORJADOS:**
 - **REPETIBILIDAD: largas series de productos idénticos.**
 - **Excelentes PROPIEDADES MECÁNICAS:**
 - **Tenacidad**
 - **Ductilidad**
 - **Resistencia a fatiga**
 - **Resistencia a la corrosión**
- gracias a
- **la INTEGRIDAD METALÚRGICA**
 - **el FIBRADO DIRECCIONAL (siguiendo el contorno de la pieza)**
 - **Alta PRODUCTIVIDAD (nº de piezas/hora).**
 - **Solo se justifican SERIES LARGAS (coste de utillajes y medios de producción).**
 - **Las cotas y superficies funcionales (TOLERANCIAS Y ACABADOS SUPERFICIALES) suelen precisar MECANIZADO posterior**



Engranajes, ganchos, industria mecánica en general

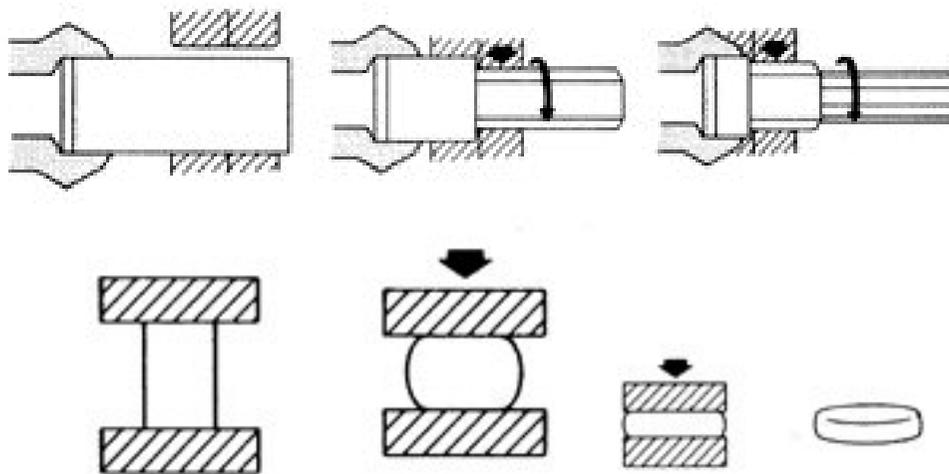


Implantes biomédicos



FORJA LIBRE:

- No se confina el flujo de metal.
- Se utiliza para forjar piezas sencillas o para preformas destinadas a piezas complejas posteriores.
- Utillajes simples

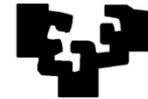


Forja libre de un eje (arriba) y de un disco (abajo). Derecha, video de forja libre en prensa hidráulica



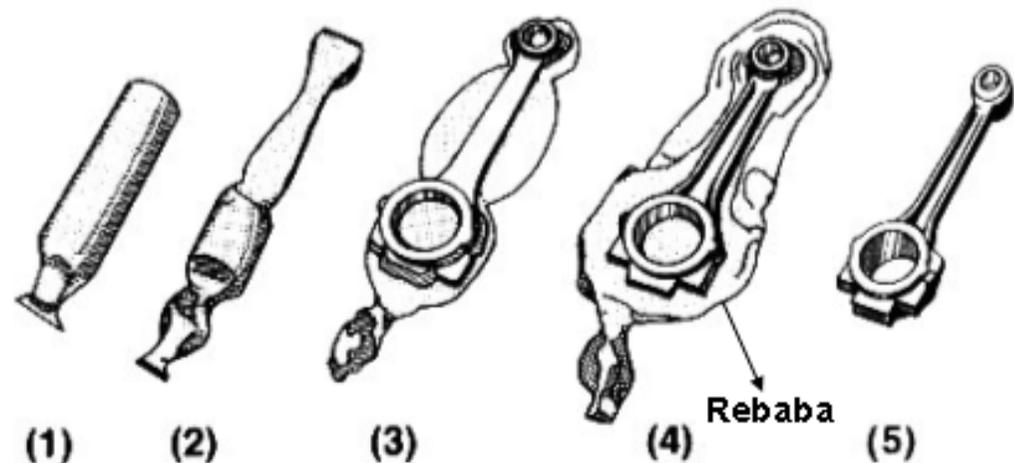
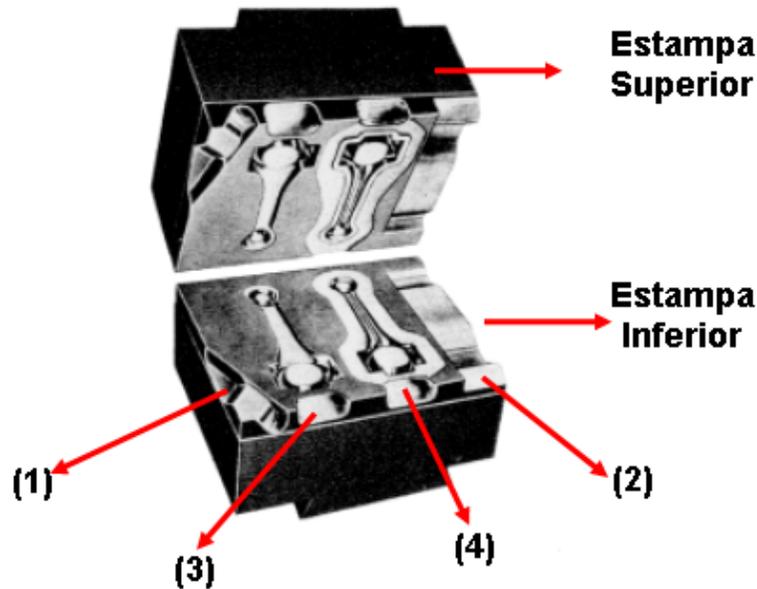
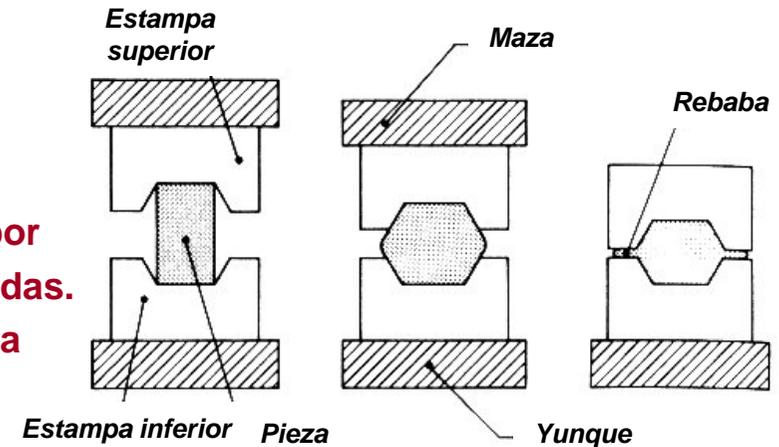


2. Forja libre y forja con estampas



FORJA CON ESTAMPAS:

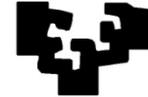
- El flujo del metal está limitado por la forma de los utillajes.
- Los utillajes (estampas) son caros y se obtienen por mecanizado. Soportan cargas y temperaturas elevadas.
- El exceso de material fluye hacia fuera formando la rebaba.



Forja de una biela en 5 etapas, y utillajes mecanizados para cada etapa



3. Conceptos básicos de diseño de productos forjados

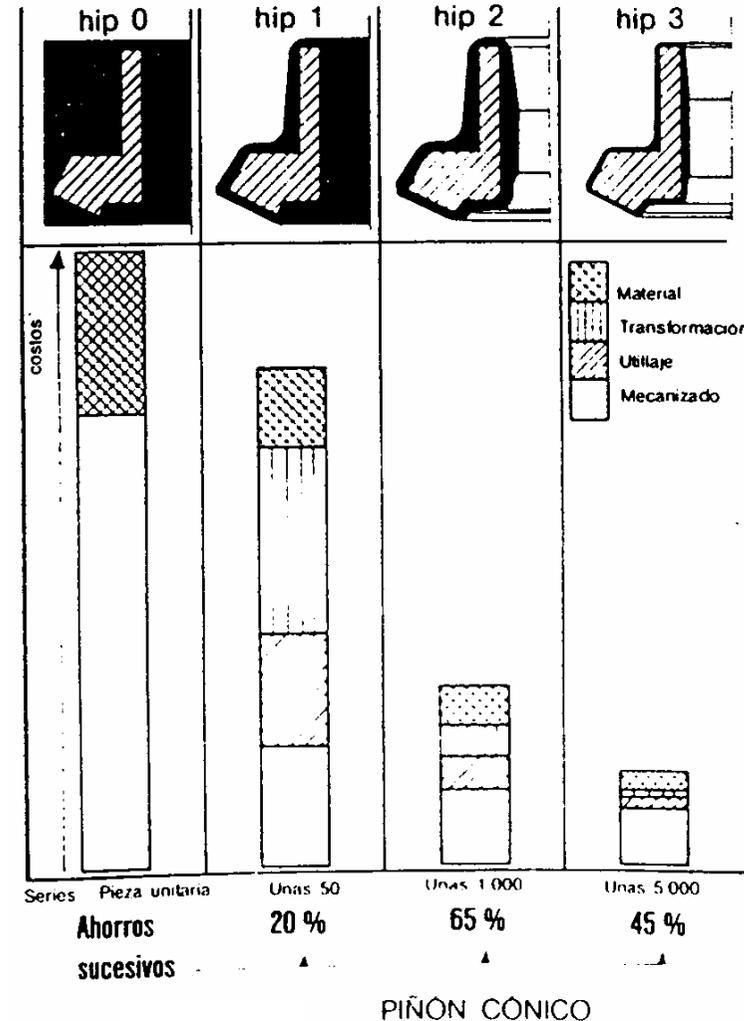


COMPONENTES DEL COSTE FINAL DE UN PRODUCTO FORJADO:

- Costes de material.
- Costes de utillajes.
- Costes de producción.
- Costes de mecanizado.

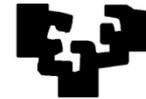
El COSTE UNITARIO del producto está relacionado con el TAMAÑO DE LA SERIE a producir:

- Cuanto mayor sea la serie, resulta más económico ajustar la forma forjada a la forma final de la pieza, reduciendo el mecanizado.
- El proceso de forja impone límites de diseño (NO ES POSIBLE FORJAR CUALQUIER GEOMETRÍA)



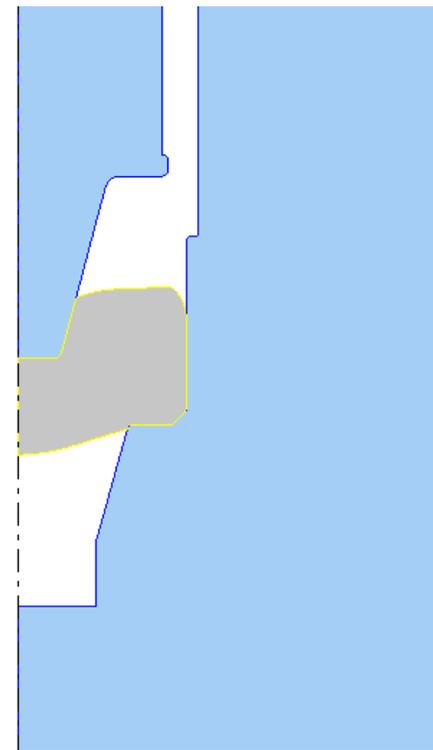
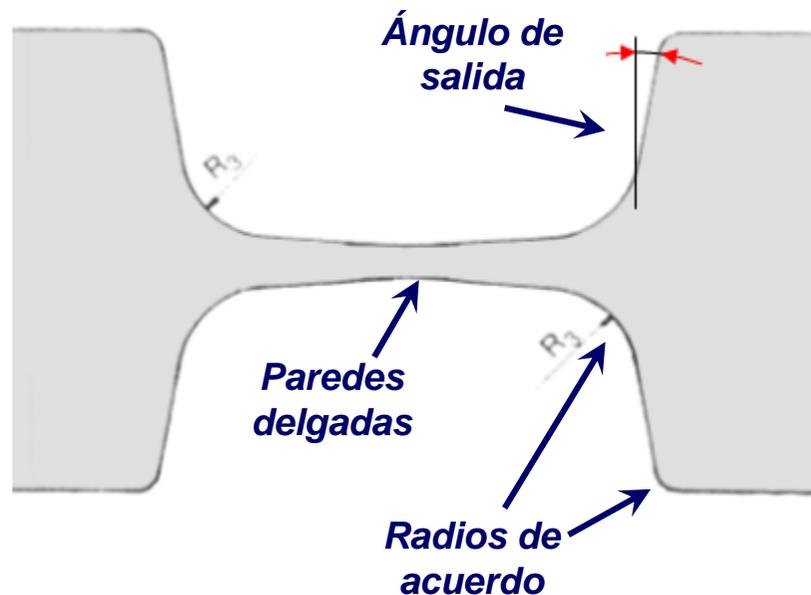


3. Conceptos básicos de diseño de productos forjados



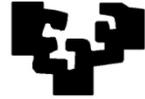
LIMITACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTOS FORJADOS

- Necesidad de **ÁNGULOS DE SALIDA** en las paredes verticales.
- Necesidad de radios de acuerdo: **NO ES POSIBLE FORJAR ARISTAS VIVAS.**
- **MUY DIFÍCIL FORJAR PAREDES MUY DELGADAS.**
- Tolerancias y acabado superficial pobres (**FORJA EN CALIENTE**).
- **NO ES POSIBLE FORJAR AGUJEROS DE PEQUEÑO DIÁMETRO.**

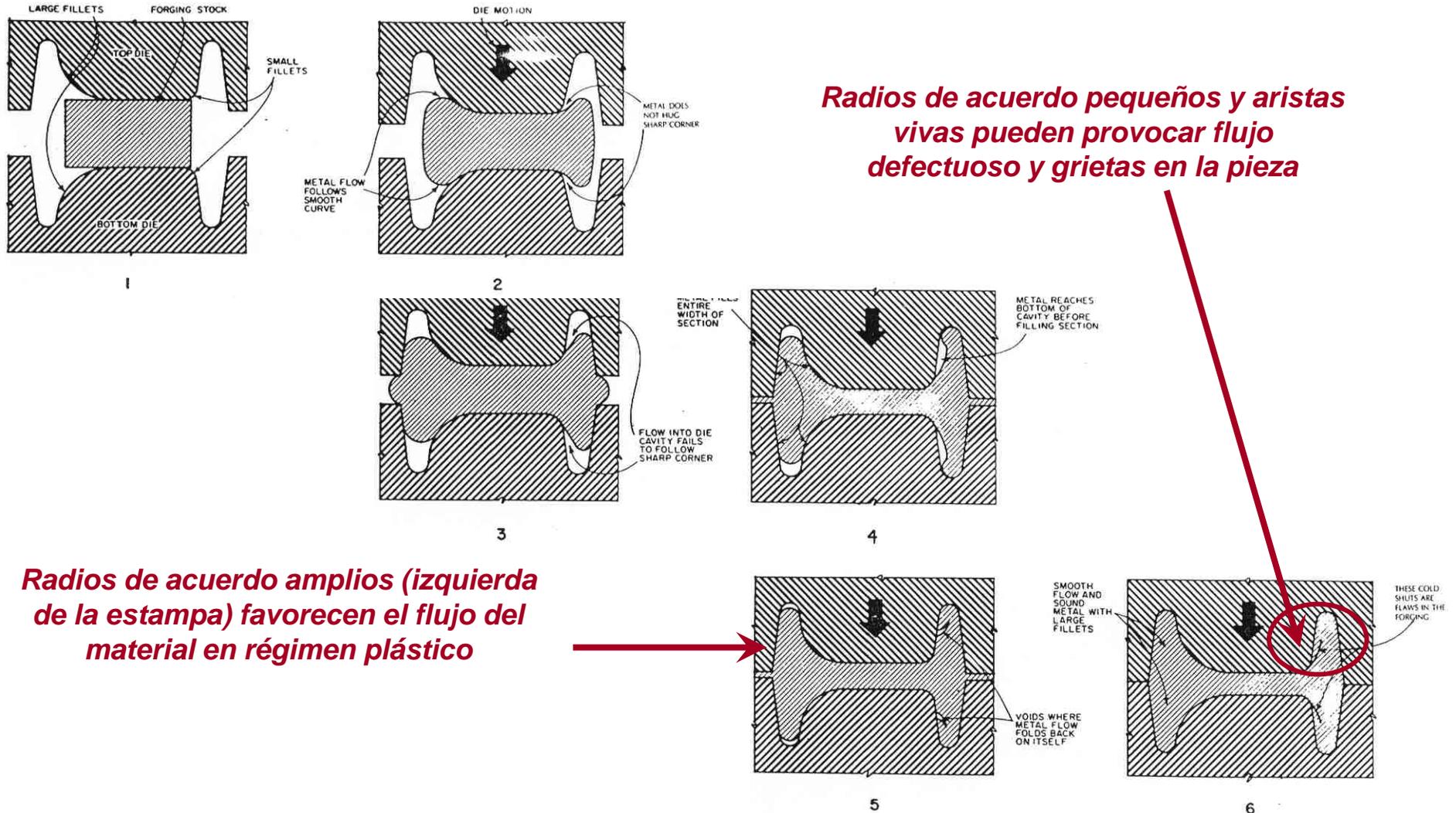




3. Conceptos básicos de diseño de productos forjados



LIMITACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTOS FORJADOS

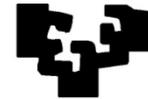


Radios de acuerdo pequeños y aristas vivas pueden provocar flujo defectuoso y grietas en la pieza

Radios de acuerdo amplios (izquierda de la estampa) favorecen el flujo del material en régimen plástico



4. Prensas y Martillos

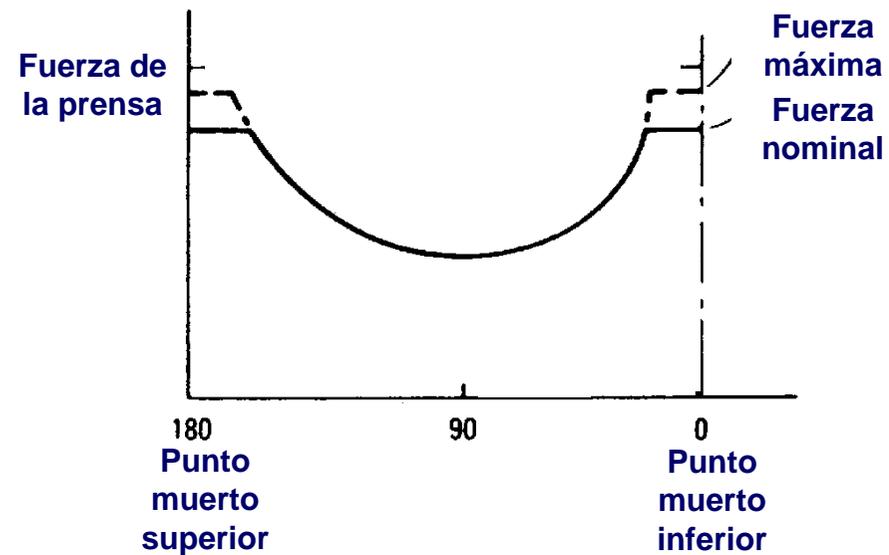
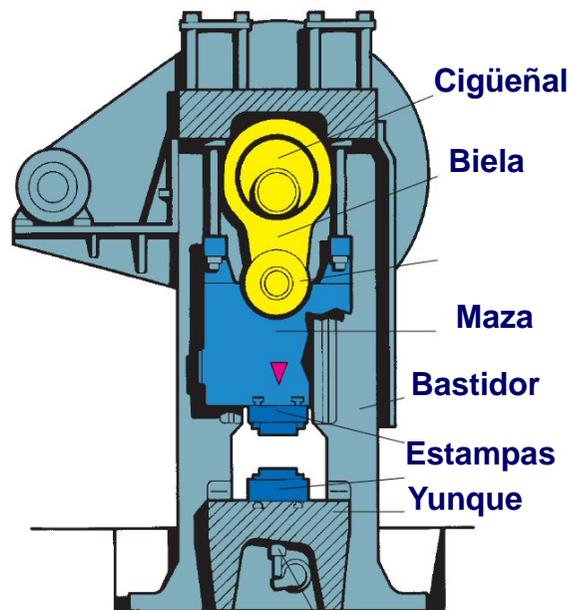


Los equipos para el proceso de forja se pueden dividir en dos grandes grupos: **PRENSAS Y MARTILLOS**

- **PRENSAS: aplicación de PRESIÓN sobre el material.**
 - Proporcionan una deformación homogénea del material y mejores tolerancias que los martillos.
 - Su capacidad viene definida por la FUERZA disponible en la carrera de bajada de la estampa.
 - Se clasifican en función del mecanismo utilizado para el movimiento de la estampa superior :
 - Prensas MECÁNICAS
 - Prensas HIDRÁULICAS

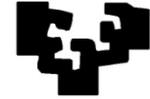
Prensas MECÁNICAS:

- Mecanismo de biela-manivela (energía almacenada en un volante de inercia)
- Fuerza y velocidad dependen de la cinemática de la prensa





4. Prensas y Martillos



Prensas MECÁNICAS:

- Mecanismo de biela-manivela
- Fuerza y velocidad dependen de la cinemática de la prensa



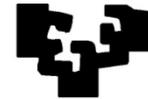
*Prensa mecánica de 160 Tm
para punzonado de piezas
pequeñas*



*Prensa mecánica de 1000 Tm
para forja en caliente*



4. Prensas y Martillos



Prensas HIDRÁULICAS:

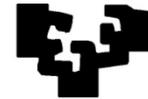
- Accionadas por un cilindro hidráulico servocontrolado.
- Fuerza y velocidad dependen del caudal y presión en el cilindro hidráulico.
- Menor productividad que las mecánicas.
- Adecuadas para forja libre de grandes piezas: capaces de grandes fuerzas y control exhaustivo de la posición de la estampa superior.
- Más caras y mayor mantenimiento que las mecánicas.



Prensa hidráulica de
15.000 Tm para la forja
libre de ejes de barco

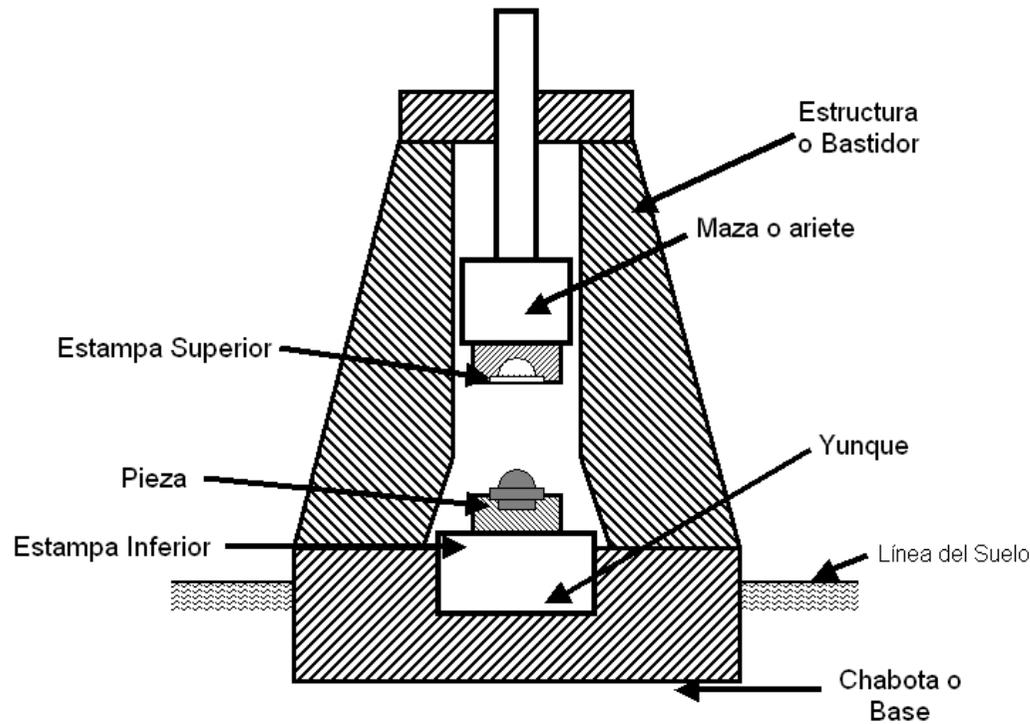


4. Prensas y Martillos



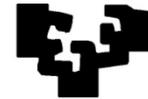
Los equipos para el proceso de forja se pueden dividir en dos grandes grupos: **PRENSAS Y MARTILLOS**

- **MARTILLOS:** aplicación de **IMPACTOS** sucesivos sobre el material.
 - Proporcionan una deformación más superficial que las prensas.
 - En general son más baratos y flexibles que las prensas.
 - Su capacidad viene definida por la **ENERGÍA** disponible en el momento del impacto.





4. Prensas y Martillos



MARTILLOS: Se clasifican en función del modo de obtención de la ENERGÍA:

- **Martillos de CAÍDA POR GRAVEDAD**

- **Energía cinética de impacto = Energía potencial de altura**

$$E_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 = m \cdot g \cdot h$$

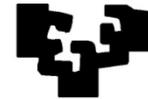
- **Automatización de la subida de la maza (control electrónico de la altura)**



**Martillo de CAÍDA
POR GRAVEDAD
elevado mediante
cilindro hidráulico
servocontrolado**



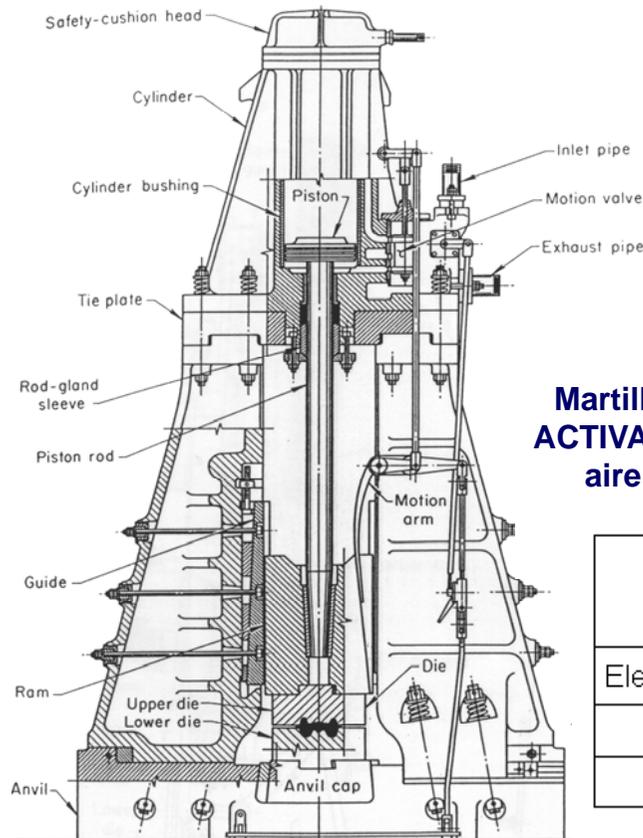
4. Prensas y Martillos



MARTILLOS: Se clasifican en función del modo de obtención de la ENERGÍA:

- **Martillos de CAÍDA ACTIVADA**

- La caída se acelera mediante aire comprimido o presión hidráulica. Se consiguen energías mucho mayores que en los de caída por gravedad.



**Martillo de CAÍDA
ACTIVADA mediante
aire a presión**

$$E_T = m \cdot g \cdot h + p \cdot S \cdot h$$

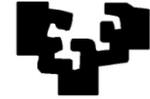
Energía de presión

P: presión
S: área del cilindro
H: altura de caída

TIPO DE MARTILLO	PESO DE LA MAZA (Kg)	MÁX. ENERGÍA DE IMPACTO (KJ)	VELOCIDAD DE IMPACTO (m/s)	IMPACTOS POR MINUTO
Electrohidráulico (gravedad)	450 – 9980	108.5	3 - 4.5	50 – 75
Caída Activada	650 – 32000	1153	4.5 - 9	60 – 100
Contragolpe	450 – 27000	1220	4.5 - 9	50 - 65



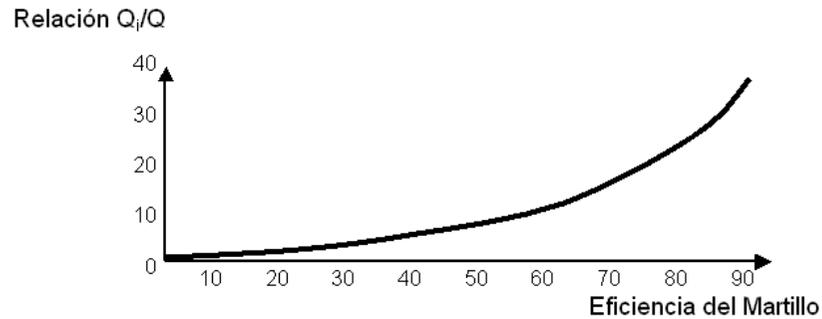
4. Prensas y Martillos



Parte de la energía del golpe de un martillo se disipa en:

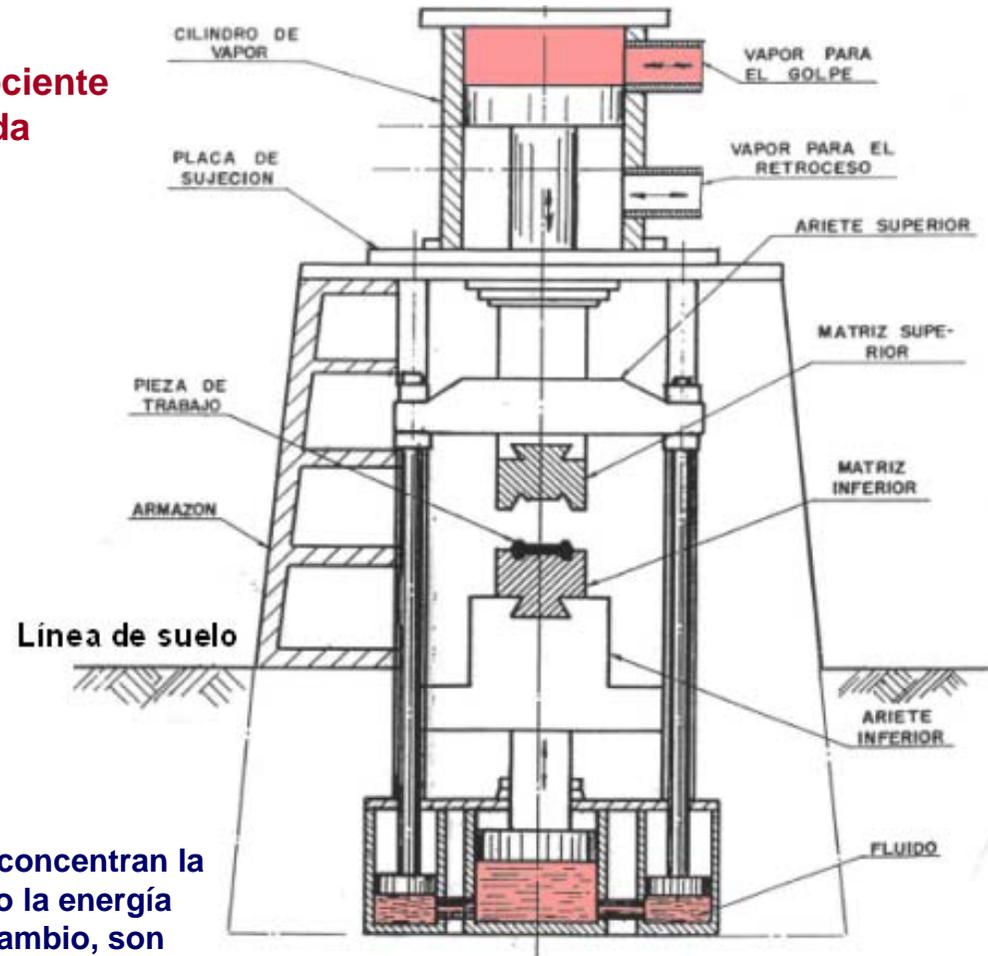
- La estructura
- La cimentación

El rendimiento de un martillo es función del cociente entre la masa de cimentación y la masa de caída



Q_i : Peso del yunque y la chabota.
 Q : Peso de la maza

Los martillos de **CONTRAGOLPE** concentran la energía en la pieza, minimizando la energía disipada en la cimentación. A cambio, son menos precisos



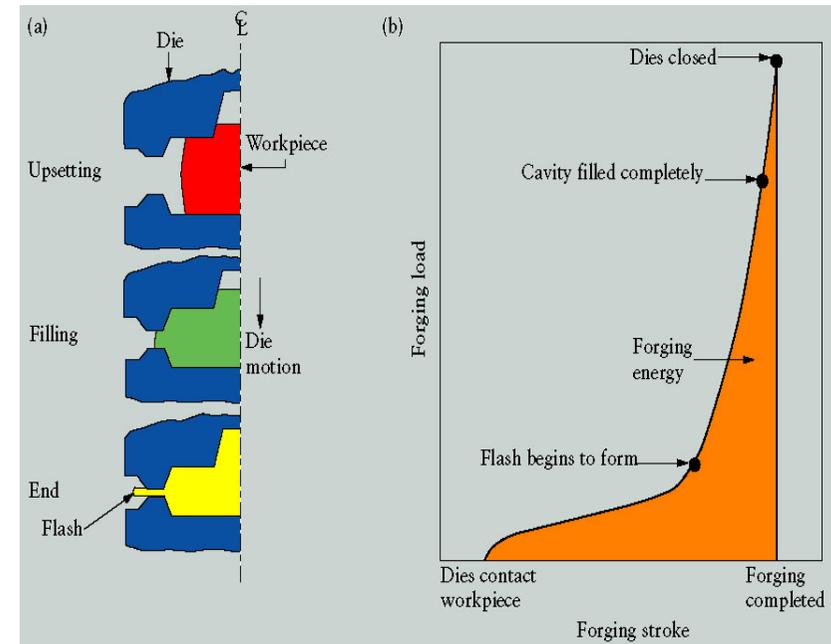
5. Simulación por ordenador del proceso de forja

La complejidad del proceso de forja (plasticidad a alta temperatura, geometría variable, elevadas tasas de deformación,...) hace que los cálculos de presiones, deformaciones, temperaturas locales, etc. sean muy complejos.

El MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS proporciona una herramienta eficaz para estos cálculos.

En la actualidad existe software comercial de Elementos Finitos para el estudio del proceso de forja.

- **OBJETIVOS DE LA SIMULACIÓN DE FORJA POR ELEMENTOS FINITOS**
 - **Cálculo de fuerzas y energías necesarias para la forja.**
 - **Ensayo virtual de preformas.**
 - **Estudio del flujo del material: diseño óptimo de radios, espesores, rebaba, etc.**
 - **Estudio de la influencia de la temperatura de forja.**
 - **Cálculo de tensiones y deformaciones sobre las estampas.**



Simulación por ordenador de la evolución de la fuerza necesaria para un proceso de forja con estampas

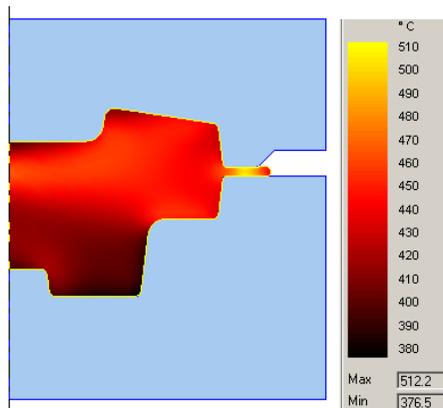
5. Simulación por ordenador del proceso de forja

DATOS NECESARIOS PARA LA SIMULACIÓN:

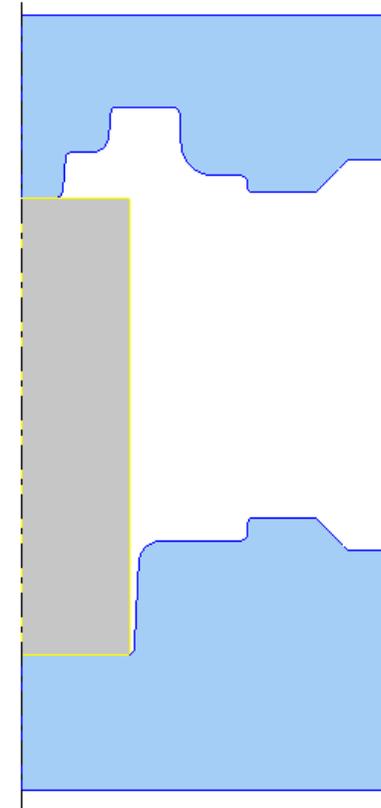
- Geometría de estampas y taco de partida: FICHERO CAD.
- Datos de materiales:
 - Ecuaciones constitutivas del MATERIAL DE PIEZA: relaciones entre tensión, deformación, tasa de deformación y temperatura.

$$\sigma = \sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$$

- Datos sobre los MATERIALES DE LAS ESTAMPAS: módulo de elasticidad, conductividad térmica, etc.
- Datos sobre el LUBRICANTE: coeficiente de fricción, conductividad térmica, etc.
- Características del martillo o prensa.



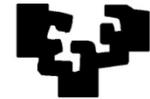
Simulación del campo de temperaturas en una pieza forjada



Predicción mediante simulación por ordenador de la aparición de una grieta causada por haber diseñado un radio de acuerdo demasiado pequeño



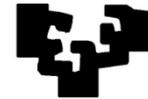
6. Cuestionario tutorizado



1. ¿Por qué crees que la forja es un proceso ampliamente utilizado para componentes del automóvil que trabajan bajo carga?
2. ¿Por qué las prensas hidráulicas son más adecuadas para forja libre de grandes piezas que las prensas mecánicas?
3. Investiga qué tipo de acero se utiliza para las estampas de forja.
4. Explicar el gráfico de la evolución de la fuerza durante una operación de forja con estampas que aparece en la transparencia 19. ¿Por qué se da el máximo de fuerza al final de la carrera?
5. ¿Qué características del martillo o prensa crees que es necesario definir como entrada en un software de simulación por Elementos Finitos del proceso de forja?
6. ¿Por qué aumenta la eficiencia de un martillo al aumentar el cociente entre masa de chabota y yunque, y masa de caída?
7. ¿Qué limitaciones de geometría y económicas deben considerarse en el diseño de una pieza forjada?
¿Cuál es la alternativa para aquellos detalles que no puedan ser forjados?



7. Oportunidades laborales: empresas y productos



Sistemas Forjados de Precisión SFP

Productos para AUTOMOCIÓN, MECÁNICA EN GENERAL,...

Localización: Amorebieta (Bizkaia)

www.sfp.es

Forging Products S.A.

Productos para AUTOMOCIÓN, FERROCARRIL, VEHÍCULO INDUSTRIAL,...

Localización: Amorebieta (Bizkaia)

www.forgingproducts.com

CIE Automotive

Productos para AUTOMOCIÓN

Localización: Plantas en todo el mundo

www.cieautomotive.com

Forjas de Berriz

Productos para AUTOMOCIÓN, VEHÍCULO INDUSTRIAL,...

Localización: Berriz (Bizkaia)

www.forjasdeberriz.com

LOIRE SAFE

Fabricación de PRENSAS HIDRÁULICAS

Localización: Hernani (Gipuzkoa)

www.loiresafe.com

ALCORTA FORGING GROUP, ONA PRES,
FORBRASS, FORDEBA,...

ALCORTA FORGING GROUP fabrica
piezas de seguridad de dirección y
suspensión en acero al carbono y
microaleado



LOIRE SAFE diseña y fabrica
prensas hidráulicas de acuerdo a
las especificaciones técnicas de
sus clientes. En la foto, una
prensa hidráulica de 400 Tm