## PROBLEMA 1

## SOLUCIÓN:

**1.** Longitud de la fibra neutra en la sección transversal de la pieza:

$L_{fibra\ neutra} = \Sigma\, L_{tramos\ rectos} + \Sigma\, [\alpha \cdot (r_i + (s/2)\cdot k)]$;

Siendo $\alpha$ el ángulo de doblado en radianes (ángulo suplementario del ángulo de plegado), $r_i$ el radio interior de plegado, $s$ el espesor de la chapa y k un coeficiente que corrige la posición de la fibra neutra en relación con la mitad del espesor de la chapa (determinado mediante tabla disponible en los apuntes).

Para los 2 plegados a realizar en la pieza: $r_i/s = 2{,}4/2 = 1{,}2 \rightarrow k = 0{,}7$;

$L_{fibra\ neutra} = (20\text{-}4{,}4) + (50\text{-}2\cdot 4{,}4) + (20\text{-}4{,}4) + \pi/2\cdot(2{,}4+0{,}7) + 3\cdot\pi/4\cdot(2{,}4+0{,}7) = 84{,}6\text{mm}$;

**Dimensiones del formato de partida para cada pieza: 470x84,6mm²;**

**2.** Cada formato de 1000x1000mm permitirá obtener 2x11 = 22 piezas/chapa;

Por tanto, para fabricar las 80 piezas habrá que comprar 4 chapas de las dimensiones indicadas.

Coste unitario de material: $\boldsymbol{C_{mat}}$ **=** $4\cdot 10\cdot 10\cdot 0{,}02\cdot 8\cdot 0{,}92/80$ = **0,736€/pieza;**

**3.** La fuerza máxima en un proceso de plegado se obtiene a partir de la expresión:

$$F_{máx} = k\cdot\frac{\sigma_u\cdot L\cdot s^2}{v};$$

Por tanto, **la fuerza máxima será la misma para ambos plegados** (únicamente cambia el ángulo de plegado).

$$F_{máx} = 1{,}3\cdot\frac{55\cdot 470\cdot 2^2}{15} = \mathbf{8961kg};$$

**El trabajo de plegado** se obtiene de: $A = \chi\cdot F_{máx}\cdot h$;

Por tanto, **será mayor para el plegado con ángulo 45º** por ser mayor el recorrido del punzón $h$;

Considerando las simplificaciones indicadas en el enunciado, el recorrido se obtiene de:

$h = 0{,}85\cdot h_{teórico}$; siendo: $h_{teórico} = \dfrac{V/2}{tg\frac{\alpha}{2}} - \dfrac{s}{sen\frac{\alpha}{2}} + s = 14{,}88\text{mm}$;

$A = 0{,}75\cdot(8961\cdot 9{,}8)\cdot(0{,}01488\cdot 0{,}85) =$ **833J**;

**4.** El alargamiento longitudinal unitario verdadero viene dado por la expresión:

$$\varepsilon = \int_{l_0}^{l}\frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right);$$

La máxima deformación se producirá en la fibra exterior del material en la zona donde se produce el plegado a 45º. Al considerarse que es una zona con geometría circular, la longitud es igual al ángulo (en radianes) por el radio: $l = \alpha \cdot r$;

Como se vio en el primer apartado, la longitud inicial (igual a la longitud de la fibra neutra) es la correspondiente a un radio: $r_i + (s/2) \cdot k = 2{,}4 + 0{,}7 = 3{,}1$mm ➔ $l_0 = \alpha \cdot 3{,}1$;

La longitud final de la fibra exterior es la correspondiente al radio exterior ($r_i + s = 4{,}4$mm):

$\varepsilon = \text{Ln}\,[(\alpha \cdot 4{,}4) / (\alpha \cdot 3{,}1)] = \text{Ln}(4{,}4/3{,}1) = 0{,}35$;

Por tanto, se producen alargamientos verdaderos del 35%, menores que los alargamientos máximos permitidos (45%) ➔ **No hay rotura ni fisuración en la superficie exterior.**

**Solución alternativa:** Aunque se trata de una fórmula aproximada y válida únicamente para plegados con ángulo 90º, se considera que sería una solución aceptable aplicar la expresión:

$$r_{i\ min} = s\left(0{,}0085\ \frac{\sigma_B}{\delta_{10}} + 0{,}5\right);$$

$\delta_{10}$: Alargamiento máximo ingenieril unitario. El alargamiento verdadero máximo es el 45%:

Alargamiento verdadero máximo = Ln $(l/l_0) = 0{,}45$ ➔ $l = 1{,}57 \cdot l_0$;

Alargamiento ingenieril máximo = $\delta_{10} = \Delta l / l_0 = 0{,}57$;

Valor mínimo del radio interior: $r_{imin} = 2 \cdot (0{,}0085 \cdot 55/0{,}57 + 0{,}5) = 2{,}64$mm;

Con esta expresión aproximada la respuesta correcta sería que sí se produciría rotura del material.

**PROBLEMA 2**

**<u>SOLUCIÓN:</u>**

**1. Operaciones elementales y geometría en cada paso.**

**CASO 1: Volumen = 1 $dm^3$.**

Aplicando la fórmula del volumen $V = \pi d^2 h /4$, calculamos la altura del recipiente

$$1 = \pi\, 1^2\, h /4; \qquad h = 127 \text{ mm}$$

Diámetro del disco de partida para la embutición:

$$D = (d^2 + 4dh)^{1/2}; \quad D = 247 \text{ mm}$$

1º Operación: Punzonado del disco de 247 mm de diámetro.

2º Operación (embutición): Hay que comprobar si es posible hacerla en un solo estirado o no.

$$\beta_{0\max} = 2 - 0{,}0011 \times \frac{100}{2} = 1{,}945\ ; \qquad \beta = \frac{247}{100} = 2{,}47$$

Como $\beta > \beta_{omax}$, hay que realizar varios estirados.

- Primer estirado: $\beta_1 = D/d_1 = 1{,}6$ $d_1 = 154$ mm
- Segundo estirado: $\beta_2 = d_1/d_2 = 1{,}3$ $d_2 = 119$ mm
- Tercer estirado: $\beta_3 = d_2/d_3 = 1{,}3$ $d_3 = 91 < 100$; $d_3 = 100$; $\beta_3 = 119/100 = 1{,}19$

**CASO 2: Volumen = 0,5 $dm^3$.**

Aplicando la fórmula del volumen $V = \pi d^2 h /4$, calculamos la altura del recipiente

$$0{,}5 = \pi\, 1^2\, h /4; \qquad h = 64 \text{ mm}$$

Diámetro del disco de partida para la embutición:

$$D = (d^2 + 4dh)^{1/2}; \quad D = 189 \text{ mm}$$

1º Operación: Punzonado del disco de 189 mm de diámetro.

2º Operación (embutición): Hay que comprobar si es posible hacerla en un solo estirado o no.

$$\beta_{0\max} = 2 - 0{,}0011 \times \frac{100}{2} = 1{,}945 \qquad \beta = \frac{189}{100} = 1{,}89$$

Por tanto, puede hacerse en un solo estirado.

La pieza cilíndrica tiene 100 mm de diámetro y 64 mm de altura.

**CASO 3: Volumen = 0,25 $dm^3$.**

Aplicando la fórmula del volumen $V = \pi d^2 h /4$, calculamos la altura del recipiente

$$0{,}25 = \pi\, 1^2\, h /4 \qquad h = 32 \text{ mm}$$

Diámetro del disco de partida para la embutición:

$$D = (d^2 + 4dh)^{1/2} \quad D = 151 \text{ mm}$$

1º Operación: Punzonado del disco de 151 mm de diámetro.

2º Operación: Embutición en un único estirado (la relación de embutición es menor que para la pieza de $0{,}5dm^3$).

La pieza cilíndrica tiene 100 mm de diámetro y 32 mm de altura.

**2. Fuerza máxima y trabajo desarrollados para la fabricación de recip. cilíndricos de 0, 5 dm³:**

Punzonado:

$$F_P = \pi \cdot D \cdot s \cdot \left(\frac{\sigma_B}{2}\right) = \pi \cdot 189 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 45 = 26.706\,kg$$

$$W_P = X \cdot F \cdot s = 0{,}75 \cdot 26.706 \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 393\,J$$

Embutición:

$$n = \frac{1}{1 - 0{,}001 \cdot \frac{d}{s}} \cdot (\beta_0 - 1) = \frac{1}{1 - 0{,}001 \cdot \frac{100}{2}} \cdot (1{,}89 - 1) = 0{,}937$$

$$F_E = n \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_B = 0{,}937 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 2 \cdot 45 = 26480kg$$

Al tratarse de una prensa hidráulica de doble efecto no es necesario considerar la fuerza del sujetachapas (se realizará con un accionamiento distintos del principal).

Trabajo de embutición:

$$W_{Emb} = \chi \cdot F_E \cdot h = 0{,}8 \cdot 26480 \cdot 64 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}81 = 13300J$$

**3. Características mínimas de la prensa hidráulica a utilizar, para la fabricación de recipientes cilíndricos de 0,5 dm³.**

Al ser un útil combinado no se realizan los dos procesos a la vez sino secuencialmente. Por tanto:

$$W = 393 + 13300 = 13693 \text{ J}$$

La fuerza exigida a la prensa será:

$$máx(F_P, F_E) = 26706kg$$

La carrera necesaria será dos veces la altura de embutición, más el espesor y más la holgura:

$$Carrera = 2 \times 64 + 2 + 2 \approx 132mm$$

**4. Coste unitario de materia prima.**

Coste de material.

$$C_M = (D + 4s) \cdot (D + 2s) \cdot s \cdot \rho \cdot precio = 197 \cdot 193 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 0{,}75 = 0{,}456€ / pieza$$

Retorno de la chatarra

$$C_{Cha}=\left[(D+4s)\cdot(D+2s)-\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\right]\cdot s\cdot\rho\cdot precio=(197\cdot 193-\pi\cdot 94{,}5^2)\cdot 2\cdot 10^{-6}\cdot 8\cdot 0{,}1$$

$$C_{Cha}=0{,}016€/\,pieza$$

Precio unitario de materia prima

$$C_M-C_{Cha}=0{,}44€$$