



PROCESO DE PRODUCCION POR EMBUTICIÓN

Ing. Eulogio Santos De la Cruz

RESUMEN

El artículo muestra los resultados de la investigación realizada por el autor, planteando, un proyecto de diseño de un producto de costo mínimo. También, se muestra el detalle de los pasos que se deben tomar en cuenta, y los cálculos que deben realizarse.

ABSTRACT

The article shows the results of the investigation accomplished by the author, outlining a project for production at minimal cost. Details of the calculation and steps that should be considered are shown.

Diseño del Producto

El requisito principal para una producción económica es la formulación de un proyecto del diseño del producto que contemple las condiciones funcionales y físicas a un costo bajo, es decir minimizar los costos unitarios y de las herramientas. En el diseño del producto se contempla los siguientes pasos:

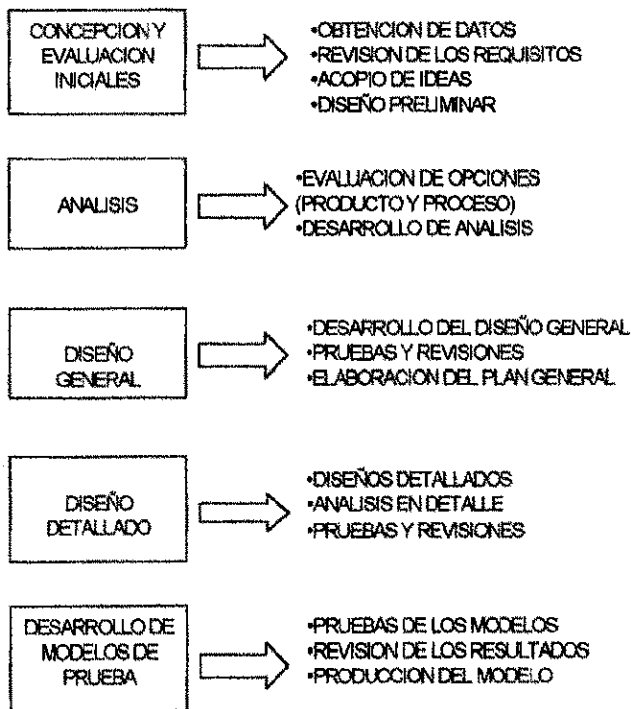


figura 1. Además del desarrollo y comportamiento del material, otros factores a considerar son: el juego entre el punzón y la matriz, radio de embutición, redondeo del punzón, lubricación, velocidad de embutición, presión del pisador, esfuerzo de embutición.

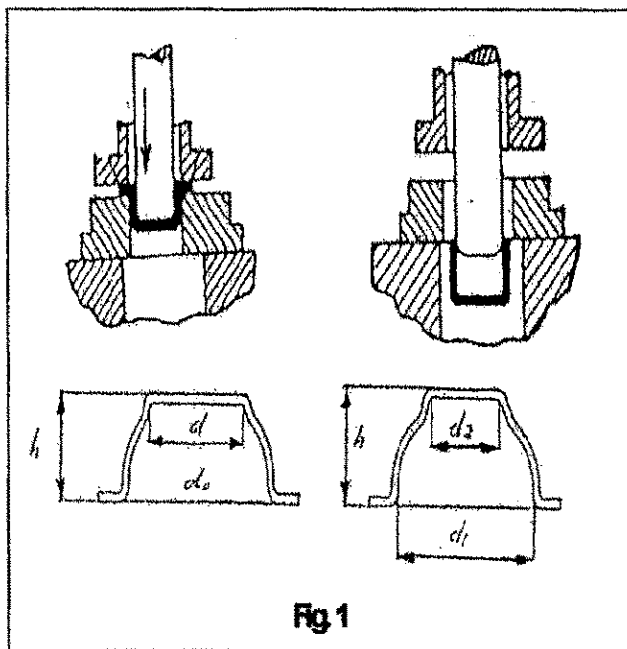


Fig 1

Al proyectar un producto por este procedimiento, se debe prestar atención cuidadosa a los factores indicados, de tal modo que se puede esperar lograr un producto libre de defectos.

Acerca de Embutición

La embutición es un procedimiento tecnológico que consiste en dar la forma a una lámina metálica en superficie no desarrollable, por deformaciones plásticas; durante este procedimiento ocurre la transformación del material, si es de forma cilíndrica o cónica de diámetro d y altura h , el material de partida es un disco de diámetro D , tal como se indica en la

Selección del Material

La selección del material debe comprender los factores de diseño y manufactura, siendo una interdependencia compleja entre diseño, material y fabricación; el acero inoxidable es uno de los materiales tecnológicos más importantes por sus excelentes propiedades mecánicas; su buena plasticidad permite hacer trabajos en ella por



deformación sin destruirse; así como por su resistencia a la corrosión es de aplicación en los equipos de la industria de alimentos y farmacéutica.

En la ingeniería de materiales, tanto las propiedades indicadas, así como la resistencia mecánica constituyen los **PARAMETROS DE DISEÑO**, los cuales son la base para la selección de materiales; el material seleccionado es el acero inoxidable AISI 304, cuyas propiedades mecánicas básicas son:

Resistencia máxima:	700 Mpa
Modulo de elasticidad:	2×10^5 MPa
Reducción en área:	65%
Elongación (en 25 mm):	50%
Dureza (HR _B):	80

Los porcentajes en reducción de área y elongación muestran las buenas condiciones de ductilidad y plasticidad requisito indispensable para embutición.

DIMENSION DEL MATERIAL

Durante la embutición, el material experimenta deformación plástica, pues ocurren varios fenómenos, entre ellos el cambio en la estructura, formando cristales dobles que lo endurecen, lo que dificulta su deformación; este problema se corrige mediante la acción térmica denominada recocido de recristalización globular; a pesar de estos fenómenos se admite que el volumen del cuerpo permanece invariable, por consiguiente la variación de las dimensiones debe cumplir la siguiente relación:

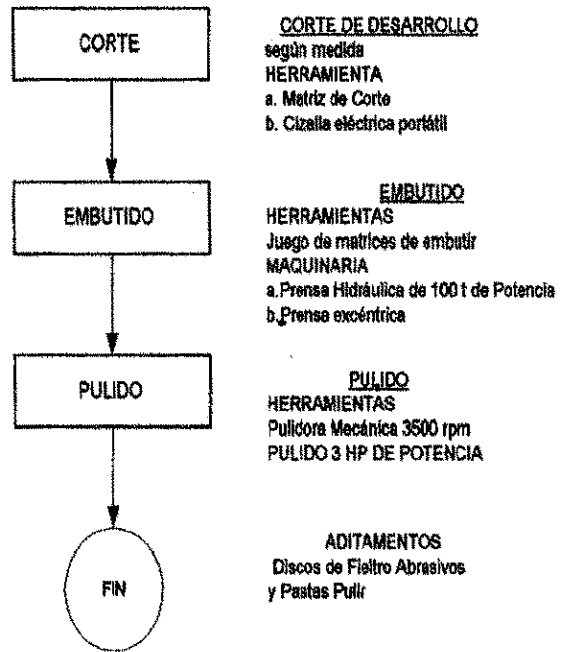
$$\ln \frac{h_1}{h_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (1)$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$$

De la deformación en las tres direcciones que se describe en la relación (1), se deduce que el volumen del desarrollo de la lámina metálica (material inicial) es igual al volumen del material de la pieza embutida. Según ésta consideración, se hacen los cálculos de las dimensiones del desarrollo; como ejemplos se presentan en el numeral 4.1 los cálculos del desarrollo para tres formas de piezas a embutir.

PROCESO

En el proceso de embutido se debe considerar las siguientes operaciones:



Cálculo de Desarrollo

El cálculo exacto del desarrollo de la lámina metálica obedece a dos necesidades:

- Economía del material.
- Facilidad de embutición y determinación del número de operaciones, con ello el número de herramientas.

Como se ha indicado en la relación (1) el cálculo de las dimensiones del desarrollo se basa en la igualdad de los volúmenes del material de partida y de la pieza embutida, para lo cual se supone que el peso específico del material no varía.

Teniendo en consideración los siguientes:

$$A_1 S = A_2 S_1$$

$$\alpha = \frac{S_1}{S}$$

- Para una pieza cilíndrica (figura 1)

$$A_2 \times \alpha = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (2)$$

$$D = \sqrt{\alpha \cdot \frac{4}{\pi} A_2}$$

- 2 Para una pieza compuesta (semiesfera y cónica, figura 2), el diámetro del desarrollo de la lámina es como sigue:

$$D = \sqrt{d_1 + 2(d_1 + d_2) \sqrt{h^2 + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4}}} + \sqrt{4dh} \quad (3)$$

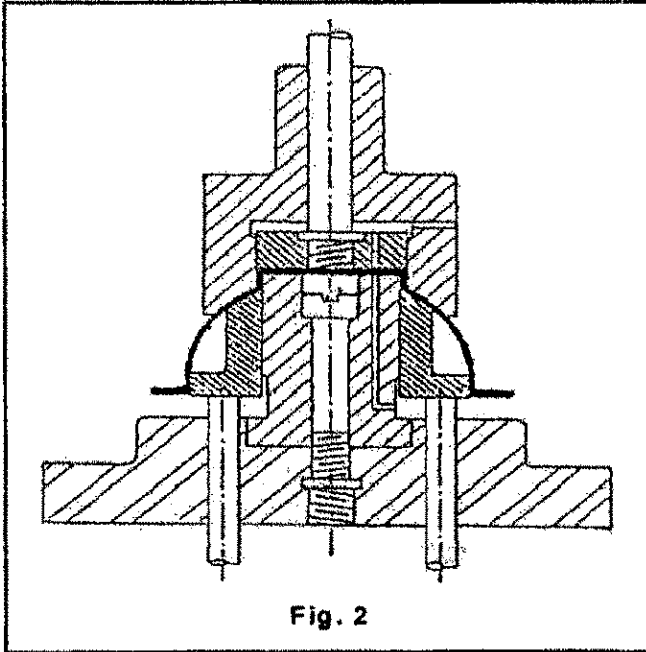


Fig. 2

- 3 Para una pieza rectangular, la obtención del recorte para recipientes rectangulares (figura 3) según las dimensiones de los lados que se designan por a y b; la altura, por h; el radio del redondeado de las esquinas de los cantos, r_e , y los radios de las aristas designando por r_b , se determinan los valores auxiliares R y x, que son necesarios para el cálculo. El radio R_1 hace falta también para el cálculo de las fases de embutición.

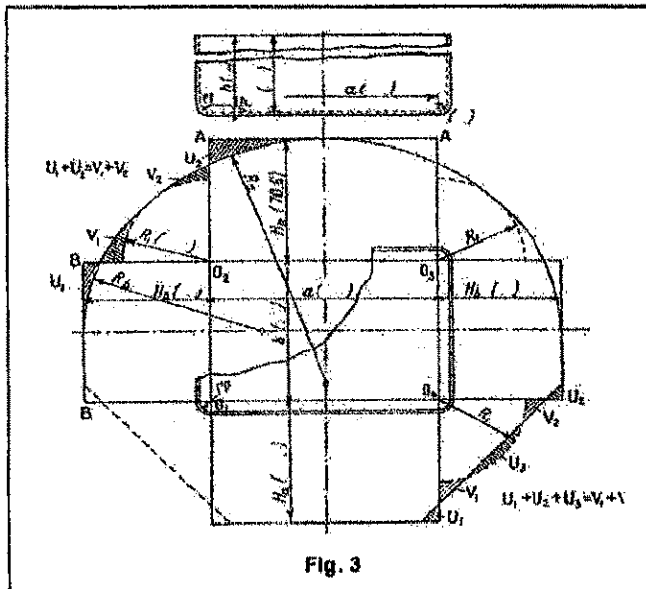


Fig. 3

Para determinar el recorte se emplean las dimensiones H_a , H_b y R_1 . Primero se dibuja el rectángulo de lados a y b, y se prolonga en una dimensión igual a H_a a partir de los dos lados mayores, y en H_b a partir de los dos lados menores.

Los pequeños arcos de circunferencia con centro a una distancia del eje igual a: $a/4$ o $b/4$, de radios $a/3$ o $b/3$.

Para la determinación de los valores R_1 , H_a y H_b necesarios para el diseño de recorte, se ha considerado el caso de que los radios de los redondeados de las aristas son todos iguales, es decir.

$$r_b = r_e = r$$

Conociendo los datos a, b, h y r, en primer término se obtienen los valores de: R_1 , H_a y H_b , según las relaciones siguientes:

$$R = 1.42 \sqrt{r^2 h + r^2}$$

$$X = 0.074 \left(\frac{R}{2r} \right)^2 + 0.982$$

$$R_1 = X * R$$

$$H_a = 1.57r + h - 0.785(X^2 - 1) \left(\frac{R^2}{a} \right)$$

$$H_b = 1.57r + h - 0.785(X^2 - 1) \left(\frac{R^2}{b} \right)$$

Redondeado de la Arista de Embutición

Un radio de redondeado demasiado pequeño en la arista de embutición produce roturas en el fondo, puesto que la matriz de embutir trabaja como si se tratara de una matriz de corte. Los radios demasiado grandes en la arista de embutición facilitan la formación de pliegues, lo cual puede originar atascamientos en el huelgo de embutición.

El radio de redondeado r_M en la arista de embutición puede calcularse aplicando la fórmula siguiente:

a. Piezas cilíndricas:

El radio de redondeado se calcula empleando la siguiente relación:

$$r_M = \frac{0.004D}{d_p b_{100}} [50 + (D - d_p)] \sqrt{s}$$

En donde s es el espesor de la chapa; D , el diámetro de recorte; d_p , el diámetro del punzón de embutir en mm, y β_{100} , la relación de embutición máxima admisible, relación de gradación.

Se obtiene también un buen resultado cuando la arista del aro de embutición, en lugar de tener la forma de un cuarto de circunferencia de radio r_M , la tiene según un perfil correspondiente a una curva de Huygens.

Con aproximación, puede dársele al perfil de la arista del aro de embutición la forma de un cuarto de elipse, en la que el semieje horizontal tenga el valor r_M y el semieje vertical el valor $1,6 r_M$.

b. Piezas no cilíndricas:

En las embuticiones de piezas no cilíndricas, especialmente de piezas rectangulares, suelen ser válidas las mismas disposiciones citadas anteriormente, pero, en lugar de la expresión $(D-d)$ se pondrá un valor igual al doble del ancho de la brida de la chapa. Distancia entre las piezas embutidas rectangulares, en lo que respecta a los lados el radio de redondeado para el lado mayor es:

$$r_{ma} = \frac{0.04 * D}{dp * B100} [50 + 2(H_a - r_e) \sqrt{s}]$$

y el radio para el lado menor:

$$r_{mb} = \frac{0.04 * D}{dp * B100} [50 + 2(H_a - r_e) \sqrt{s}]$$

Cálculo del Número de Operaciones

Piezas cilíndrica

El cálculo de la reducción de diámetro de desarrollo está en función de la plasticidad del material, el cálculo tiene importancia porque permite conocer el número de pasos de embutición para obtener el producto final y, con ello el número de herramientas necesarias.

El cálculo está basado en la reducción de diámetro utilizando la siguiente relación:

a. Primera reducción:

$$d_1 = \frac{X \cdot D}{100 - 0.025 D}$$

b. Las siguientes reducciones con la relación siguiente:

$$d_1 = \frac{Y \cdot d_{n-1}}{100 - 0.025 d_{n-1}}$$

donde X, Y son los coeficientes que dependen del espesor del material y tienen valores mínimos y máximos dependiendo de la calidad del material.

Para el presente caso:

$$s = 0.8 \text{ mm,}$$

$$X = 50 - 56$$

$$Y = 70,4 - 77$$

En la tabla siguiente se muestran los resultados

OPERACION	1	2
	265.5	187.5
	187.5	150.0
ALTURA	46.7	80

de acuerdo con los resultados, se requieren dos pasos

Pieza compuesta

La pieza compuesta de la figura 2, tiene una parte cónica que es la que predomina por ser tener mayor profundidad de embutición, en el cálculo del número de reducciones se consideran las siguientes condiciones:

a. La relación h/d es una función lineal de los números de operaciones, con el cual se construye el diagrama 1. Por lo tanto el valor inicial tiene:

$$\frac{h_0}{d_0} = 0$$

Las demás reducciones: $b = \frac{h}{d}$

b. El producto $d \cdot h$ es una constante para todas las operaciones:

$$h_1 \cdot d_1 = h_2 \cdot d_2 = \dots \dots h_n \cdot d_n = k$$

$$h_1 = \sqrt{kb_1}$$

de la relación lineal, figura 4 se comprueba que:

$$b_1 = 0.65$$

$$\text{Luego : } h_1 = \sqrt{3250 * 0.65} = 45$$

$$h_2 = 20$$

Para esta forma de pieza se requieren dos pasos

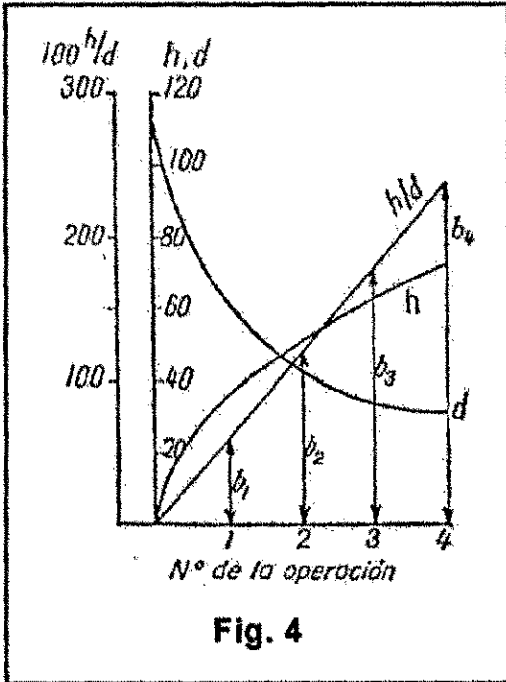


Fig. 4

Piezas rectangulares

El mayor esfuerzo que experimenta el material tiene lugar en los ángulos, las partes rectas están solicitadas a plegado puro, de allí el cálculo de las reducciones de embutición se reducen a la determinación de las reducciones de los diámetros de los cilindros ficticios de los ángulos. Basado en el método del contorno curvilíneo es como sigue:

$$r_1 = q_1 R_1 \quad r_1 = 0.4 * 214.52 = 85.80$$

$$r_2 = 0.6 r_1 \quad r_2 = 0.6 * 85.80 = 51.48$$

$$\dots\dots r_3 = 0.6 * 51.48 = 30.88$$

$$r_n = 0.6 r_{n-1} \quad r_4 = 0.6 * 30.88 = 18.53$$

corrección:

$$r_4 = 25$$

$$n = \frac{25}{18.53} = 1.35$$

$$r_3 = 1.35 * r_3 = 41.7$$

$$r_2 = 1.35 * 41.7 = 56$$

Se requieren cuatro pasos.

Determinación del Esfuerzo y la Energía para la Embutición

I. Para una pieza cilíndrica :

a. Esfuerzo del punzón:

$$P_p = n * d * e * m * k \dots\dots Kg.$$

m, es la relación entre el diámetro del Punzón y el diámetro del disco de la partida:

$$\frac{d_p}{D}$$

b. Esfuerzo ejercido por el pisador:

$$P_s = p * \frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) \dots\dots Kg.$$

El valor de p es 0.20

c. Trabajo de embutición:

$$T = (P_p * X + P_s) * h \dots\dots Kg \cdot m$$

II. Para pieza prismática

a. Esfuerzo del punzón:

$$P_p = 1.6(a + b + 2r_p) K \cdot e$$

b. Esfuerzo del pisador:

$$P_s = 2(a + b) * H_a * P + p(R_1^2 - r_1^2);$$

Energía total necesaria:

$$T = 0.7(P_p + P_s) H_a$$

Expresados T en Kgm y H_a en m.

Nomenclatura

- A₁, superficie del desarrollo,
- A₂, superficie de la pieza embutida,
- s, espesor de la lámina,
- s₁, espesor de la pieza embutida.
- α, coeficiente de adelgazamiento del material
- d_p, diámetro del punzón en milímetros
- s, espesor de la chapa en milímetros
- k, resistencia a la tracción de la chapa, en Kg / mm².
- H, la profundidad de embutición en metros
- X, el coeficiente de irregularidad de la fuerza P_p.