

TEMA18

CONFORMADO DE CHAPA

Introducción.

En estos últimos años el conformado de chapa fina, por diversos procedimientos, ha adquirido un notable desarrollo debido a la extensa variedad de aplicaciones en la fabricación de piezas (carrocerías de automóviles, aviones, aparatos electrodomésticos, etc.). Este espectacular desarrollo se ha debido principalmente, a tres causas:

- a) Economía de la fabricación de las piezas de chapa por estampación en frío (para grandes series).
- b) Uniformidad de las características mecánicas obtenidas de las piezas (no existe transformación térmica).
- c) Excelente acabado superficial de las piezas.

Las condiciones que deben cumplir las chapas de los metales y aleaciones, para obtener los mejores resultados en la conformación de las piezas por estampación en frío, son las siguientes:

1. Sus superficies no han de tener marcas ni defectos.
2. Espesor uniforme.
3. Características uniformes del material.

De entre todos los materiales utilizados en la fabricación de piezas, los más empleados en conformación por estampación en frío son la chapa de acero, la chapa de aluminio y la chapa de latón.

- La chapa de acero más adecuada es la extradulce (F-111), de composición aproximada: 0,15 % de C, 0,40 % de Mn, 0,20 % de Si y porcentajes inferiores al 0,04 % de P y S.

- Las chapas de aluminio (material excelente para la estampación en frío), han de manipularse con mucho cuidado, debido a que es muy blando, para no deformar defectuosamente las piezas, siendo las más utilizadas, las de Magnesio (L-331) y las de Cobre (Duraluminio;L-311).

- Por último, de los latones, el más adecuado es la aleación Cuzin 67 con un 65-67 % de Cu y el resto de cinc. Como la chapa de Latón adquiere acritud con la deformación, se debe recocer cuando la estampación se realiza en varias fases.

Las operaciones fundamentales en que puede descomponerse la conformación por

estampación en frío de una pieza de chapa, son las siguientes:

- a) Punzonado y Troquelado.
- b) Doblado y curvado.
- c) Embutido.

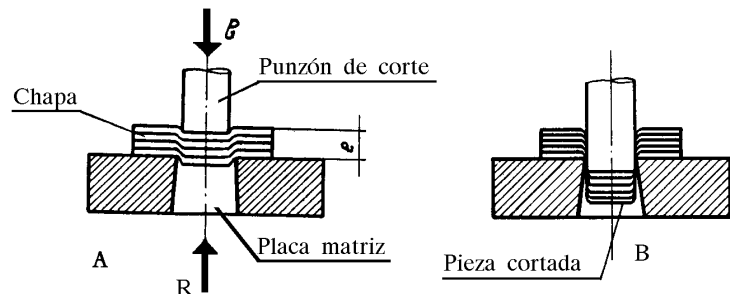
Punzonado y troquelado.

El corte por punzonado o perforación de una plancha, consiste en una operación mecánica que, con la aplicación de los útiles adecuados, permite obtener una figura geométrica, en forma de superficie plana, de manera instantánea.

El *punzonado* y el *troquelado* son operaciones de cizallado en las que las cuchillas tienen forma de líneas curvas cerradas, que siguen los bordes de un punzón y una matriz. Básicamente, estas operaciones de corte son iguales y su diferencia es primordialmente una cuestión de definición, de tal forma que mientras que en el troquelado, el trozo de material que recorta el punzón (*troquel*) es la pieza a producir, por lo que las rebabas y demás detalles no deseables deben dejarse en la banda, en el punzonado, el trozo recortado es el desperdicio, siendo el resto de la banda la pieza a producir.

Siguiendo el proceso de corte de una pieza, se observa que el punzón ejerce sobre la chapa una presión continuada, oponiéndose a este esfuerzo la reacción propia del material, hasta el momento en el que el esfuerzo de compresión supera la resistencia al cizallamiento separa la pieza, obtenida por el lado opuesto al ataque del punzón.

Como puede observarse, el material sufre, antes de ser cortado, una deformación plástica, ya que las fibras del mismo tienden a estirarse progresivamente, conforme el punzón va aumentando su acción; sin embargo, al rebasarse el límite de plasticidad las fibras son cortadas, y cuando la pieza está libre experimenta una rápida recuperación elástica, quedando adaptada muy enérgicamente, por sus bordes, al agujero de la matriz, donde permanece encerrada hasta que el corte de una segunda pieza obliga a la primera a salir.

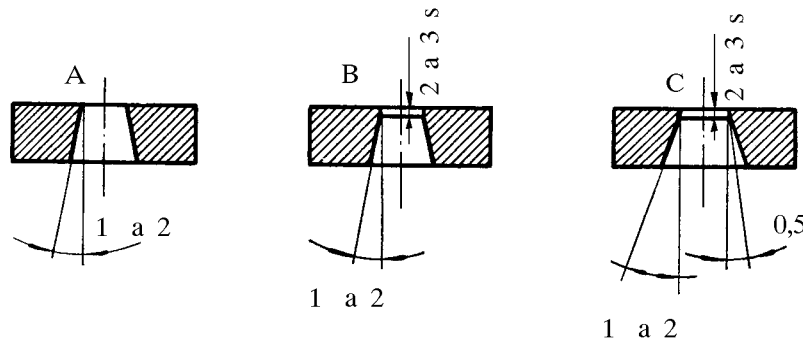


Existe una relación mínima entre el diámetro de la pieza cortada y el espesor del material, para que no se produzca la rotura del punzón debido al esfuerzo que debe soportar. Esta relación para el caso de los aceros es $e/D = 1,2$. Si se emplean materiales con menor resistencia, esta condición límite puede aumentarse.

La maquinaria que se emplea para estas operaciones consiste básicamente en prensas mecánicas o hidráulicas, en las que se fijan los punzones y las matrices de punzonar.

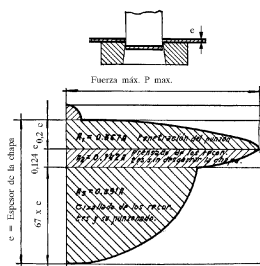
- Ángulo de escape

Como hemos visto anteriormente, las piezas quedan retenidas lateralmente dentro del contorno de la placa matriz, para evitar esto, la placa matriz va experimentando un aumento paulatino, conforme va aumentando el espesor de la misma. Este aumento del contorno de la placa matriz materializa el denominado ángulo de escape, que dependiendo del procedimiento con el que se realice y de la producción a realizar, oscila entre 1E y 6E.



- Presiones requeridas para el corte

El punzón, en el instante en que desciende y toma contacto con la plancha, inicia su acción de compresión, seguida inmediatamente del corte o punzonado. En todo el contorno definido por el punzón y la matriz sobreviene una presión continua por parte del punzón, y la reacción que se opone al esfuerzo aplicado, por parte del material. El punzón sigue presionando, en su descenso, hasta que la presión con que ataca es superior a la resistencia a la cizalladura del material, y entonces, bruscamente, son seccionadas las fibras de éste y queda cortada la pieza. Sin embargo, si cesase la acción del descenso del punzón, la pieza quedaría, por recuperación elástica, fuertemente adherida al contorno del material seccionado, formando una estructura única; de aquí que el punzón deba proseguir su efecto prensando las piezas recortadas, sin desgarrar o cizalladura por parte del material, hasta que finalmente la pieza es expulsada de manera definitiva.



Durante la carrera, el punzón desarrolla primeramente un esfuerzo para vencer la resistencia opuesta por la estructura molecular del material; después, al desaparecer este esfuerzo, aparece otro proveniente de las tensiones elásticas del material, que es notablemente energético y se desarrolla sin fenómeno alguno de cizalladura; cabe sumar a este esfuerzo el de la resistencia opuesta a la expulsión por las piezas cortadas. El tercer esfuerzo, ya decreciente, es el originado por fricciones en el final de la carrera de penetración del punzón.

La magnitud de la fuerza de corte, es función del perímetro de la pieza cortada, del espesor del material y de la resistencia al cizallado.

$$F = s \cdot e \cdot K_s$$

Donde:

s = desarrollo de la periferia de la pieza a cortar, en mm.

e = espesor de la plancha cortada, en mm.
 K_s = resistencia a la cizalladura, en Kg/mm².

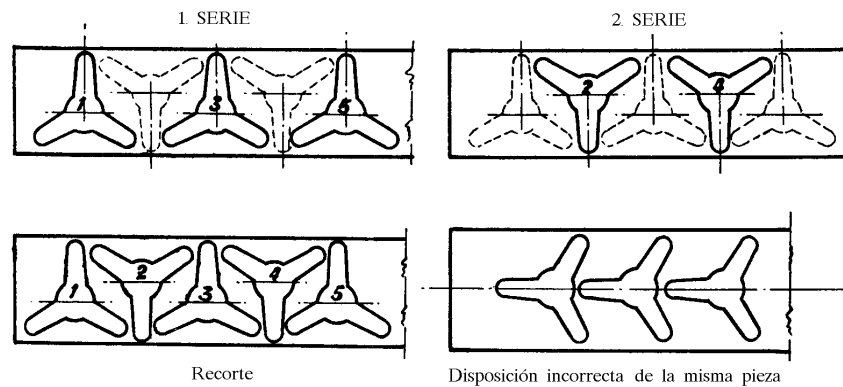
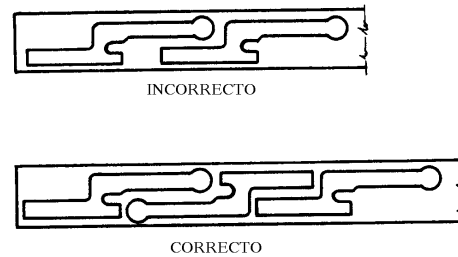
El caso del punzonado difiere del cizallado típico en que los punzones de corte no forman ningún ángulo respecto a la placa matriz. En el caso de cizallado típico la magnitud de la fuerza de corte depende del ángulo de los filos, resultando:

$$F' = \frac{e^2 K_s}{2 \operatorname{tg} \eta}$$

Donde η suele ser igual a $10E$.

- Disposición de figuras

Puesto que el procedimiento del matrizado se aplica a la fabricación de grandes cantidades de piezas, la economía del material, representa un factor básico a tener en consideración. Frecuentemente, las piezas tienen una forma irregular, de manera que pueden encontrarse situadas a lo largo de la tira de material, en distintas posiciones, de forma que se optimice el material. Algunas veces no es posible, debido a la asimetría de la pieza, obtener una correlación numérica en el paso existente entre unas piezas y otras, y entonces la tira avanzará dando dos pasadas, una realizando la serie impar y luego, tras ser introducida de nuevo la tira, haciéndolo con la serie par.

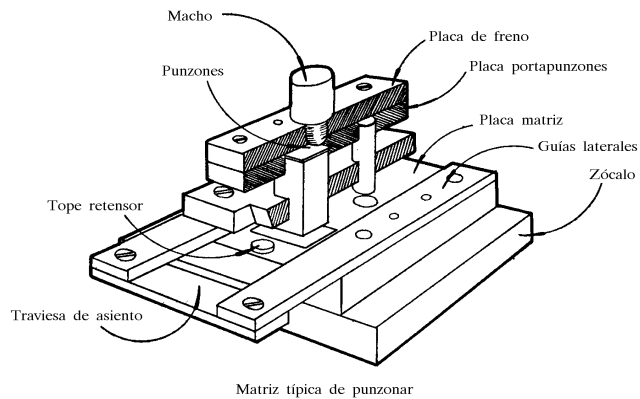


Otro de los sistemas corrientemente empleados en la construcción de matrices de gran rendimiento, y que se emplea a menudo en piezas de dimensiones relativamente pequeñas, es el de disponer dos o más punzones, intercalados convenientemente para producir dos o más piezas.

-Características mecánicas de una matriz de punzonar

Seguidamente se van a mostrar las características fundamentales de los elementos mecánicos principales de una matriz de punzonar: el punzón y la placa matriz.

1.- **Punzón.** Los punzones suelen ser los órganos móviles de corte en las matrices; éstos adoptan la figura, total o parcial, de la pieza que se desea obtener, estando sujetos a la placa o dispositivo porta punzones. Trabajando contra la placa sufridera, se sujetan al carro de la prensa por medio del macho y son guiados por la placa de guía de punzones.



Deben trabajar completamente perpendiculares a la figura matriz, para lo cual, en la placa porta punzones, tienen un pequeño juego que les permite adaptarse bien a la guía, confiando a ella su perpendicularidad.

En el diseño del punzón debe tenerse siempre presente la configuración de la pieza, procurando evitar las partes débiles, confiando a otros punzones auxiliares, en operaciones simultáneas, el perfilado de la pieza que se desee obtener.

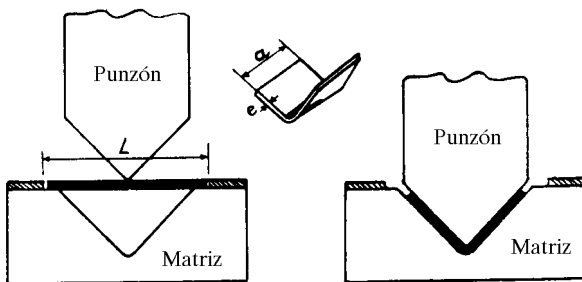
2.- **Placa matriz.** En esta placa se encuentra tallada, con meticulosa exactitud, la figura de la pieza que se ha de obtener, y es el elemento que más esfuerzo soporta de toda la estructura del útil. Esta placa suele estar situada, en las matrices normales, en la parte inferior del útil y montada sobre un basamento sólido que impide todo movimiento en falso de la misma; la placa está fijada a este basamento mediante tornillos y clavijas de centrado, formando, juntamente con la guía de punzones, un cuerpo sólido y compacto.

Doblado y curvado.

Las operaciones de doblado y curvado de la chapa son operaciones de deformación sin variación del espesor inicial de la chapa y, por tanto, sin variación de la superficie total de ésta.

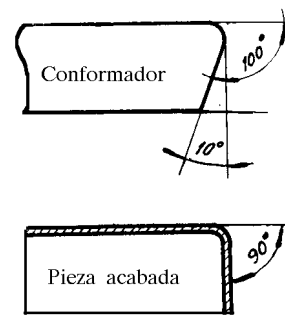
La *conformación por doblado* consiste en producir la fluencia en la zona de conformación mediante flexión, provocada por fuerzas de compresión y de tracción aplicadas desde fuera, o mediante un momento de torsión. Procedimientos de doblado, entre otros, son: doblado sin estampa, doblado o curvado en redondo, doblado por pandeo, doblado con estampa, arrollado, etc.

Se recomienda redondear los ángulos de unión de los



Doblado simple de la chapa

distintos planos del doblado, para no estirar excesivamente las fibras exteriores y



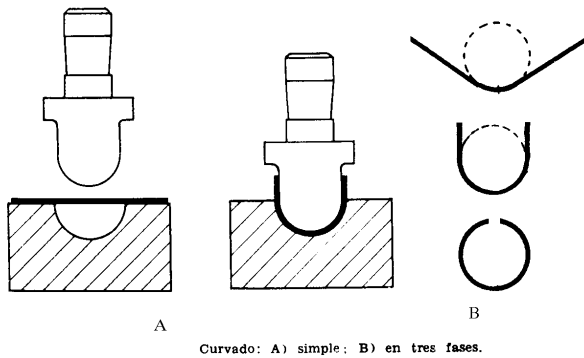
Reembutición de una pieza

disminuir el riesgo de rotura del material. Los radios de unión que se consideran como normales son:

- 1 a 2 veces el espesor de la chapa para materiales dulces.
- 3 a 4 veces el espesor de la chapa para materiales duros.

Como los metales son elásticos, al cesar la acción deformante de la estampa, la chapa tiende a recuperar su forma primitiva, y esta tendencia es tanto mayor cuanto más duro sea el material. Por esto, las estampas se proyectan para producir deformaciones de ángulos más agudos, para que, una vez deducida la reacción elástica de la chapa, quede con el ángulo deseado.

La *conformación por curvado* se considera una variante del doblado, del que se distingue por el radio de curvatura que se le da a la chapa, así, el doblado propiamente dicho se tiene cuando la chapa es deformada según un radio de curvatura que puede oscilar entre casi cero (canto vivo) y 7-8 veces el espesor de la chapa.

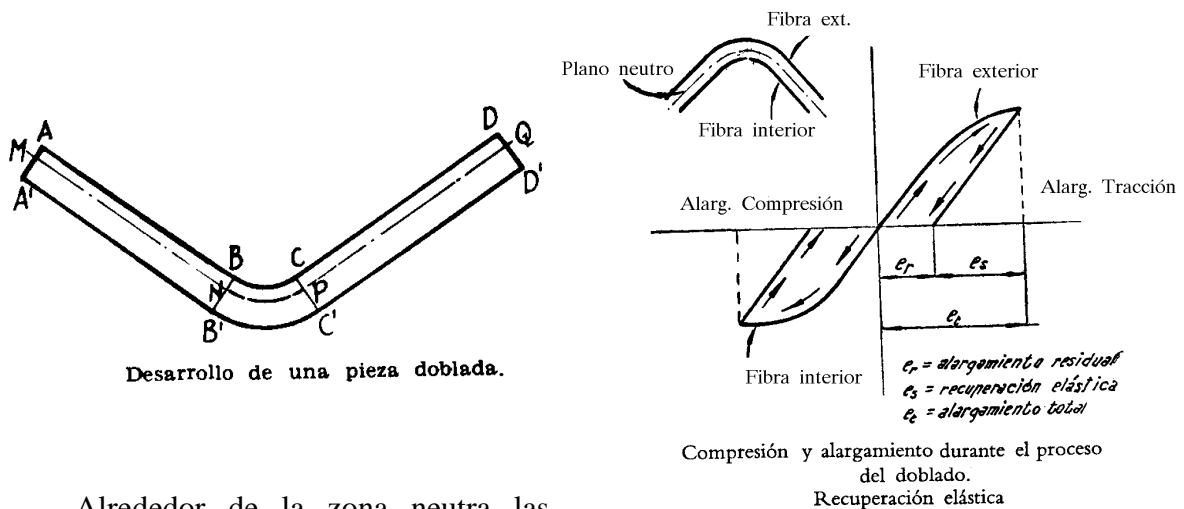


Curvado: A) simple: B) en tres fases.

Para efectuar la conformación, la chapa debe ser sometida a un esfuerzo de flexión hasta superar el límite de elástico del material, de modo que la deformación obtenida adquiera un carácter permanente. Durante esta operación, las fibras del material que permanecen en el exterior de la curva están sometidas a tracción; las interiores a compresión.

Entre las dos zonas se encuentra un plano cuyas fibras no experimentan sollicitación alguna (fibra neutra). El plano neutro no coincide necesariamente con la mitad del espesor de la chapa, sino que puede estar desplazada hacia el centro de la curvatura.

Experimentalmente se ha llegado a comprobar que esta línea neutra está en la mitad del espesor de la chapa si ésta tiene un grosor inferior a 1 mm., y sobre el 1/3 más cercano de la curva interior si los espesores son mayores.



Desarrollo de una pieza doblada.

Compresión y alargamiento durante el proceso del doblado.
Recuperación elástica

Alrededor de la zona neutra las sollicitaciones resultan inferiores al límite

elástico; por ello, al cesar el esfuerzo de flexión, la zona neutra tiende a volver a la forma primitiva, mientras las zonas contiguas han sufrido ya una deformación permanente. El material tiende a adquirir una forma intermedia entre la forma primitiva y la originada por la conformación. Tal fenómeno se llama retorno elástico, siendo tanto más fuerte cuanto más elevado es el límite elástico de la chapa doblada.

- Esfuerzos desarrollados en el doblado

Cuando una lámina metálica se coloca sobre una matriz de doblar, se comporta, en muchos casos, como un sólido que se encuentra apoyado en sus extremos y al cual se le aplica una carga en el centro. Los esfuerzos pueden determinarse por las fórmulas normales de resistencia de materiales que, en el caso más simple, se pueden calcular por la siguiente fórmula:

$$F' = \frac{2 \sigma_d b s^2}{3 l}$$

Donde:

F = esfuerzo total en Kg, necesario para el doblado.

σ_d = sollicitación a la flexión en Kg/mm². ($\sigma_d = 3 \sigma_R$)

b = longitud de dobléz en mm.

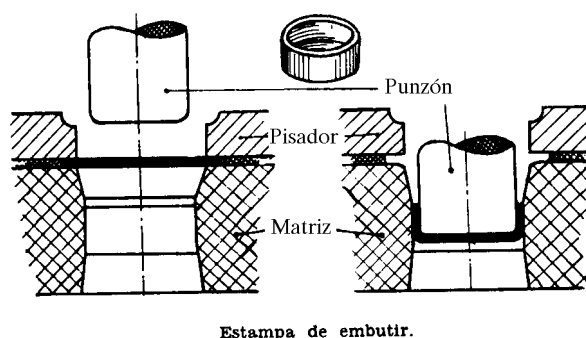
s = espesor de la plancha en mm.

l = distancia entre los apoyos de la plancha.

Embutición.

La embutición es una operación que tiene como finalidad convertir una chapa plana en un cuerpo hueco. La operación se realiza por medio de una estampa de embutición que está compuesta de tres partes principales.

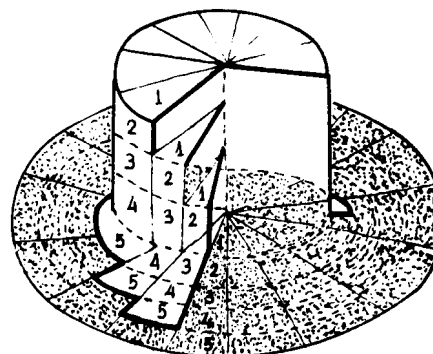
- a) *Matriz*, que forma el hueco al que ha de adaptarse la chapa.
- b) *Punzón*, que empuja la chapa adaptándola al hueco de la matriz.
- c) *Pisador*, que presiona la chapa al borde de la matriz, y cuya misión es evitar que se formen arrugas, pero sin sujetarla, para que pueda fluir a medida que es empujada por el punzón.



Estampa de embutir.

La deformación de una chapa en el embutido se realiza por un complejo sistema de fuerzas de tracción y compresión, que componen lo que se denomina *flujo* o *corrimiento* del material entre las paredes de la matriz y el punzón y pisador.

Para embutir piezas muy profundas deben utilizarse punzones de sección muy pequeña en relación con la superficie inicial de la chapa plana y cuanto mayor es la



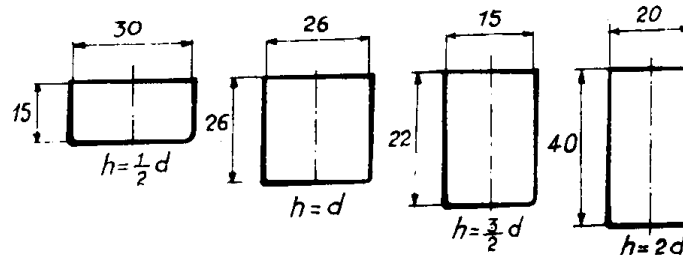
Proceso de la deformación de una chapa por embutición.

diferencia entre ambas secciones, mayor debe ser la presión necesaria para el embutido. Así, por ejemplo, no es recomendable embutir en una sola operación piezas cilíndricas cuya profundidad sea superior a un radio. Si se desean embutir piezas más profundas, se deben realizar un número de operaciones igual a:

$$n = 2 \left(\frac{h}{d} \right) \text{ para piezas de pequeño diámetro.}$$

$$n = 3 \left(\frac{h}{d} \right) \text{ para piezas de gran tamaño.}$$

Siendo h la profundidad deseada y d el diámetro del punzón.



Embutido de una pieza en cuatro fases.

Es recomendable una perfecta lubricación en todas las superficies de la chapa debido a que esta está en continuo rozamiento entre el punzón y la matriz con objeto de evitar el riesgo de rotura de la chapa.

- Fuerza necesaria para embutición

El cálculo de la fuerza necesaria para la embutición es muy complicado, sobre todo cuando se trata de piezas de formas irregulares. En el caso más sencillo cuando se trata de embutir un recipiente cilíndrico de fondo plano, puede calcularse la fuerza necesaria para embutido por la fórmula:

$$F = r \cdot e \cdot n \cdot \sigma_r$$

Donde:

σ_r = carga de rotura del material.

n = coeficiente que viene dado en función de R/r (ver cuadro adjunto).

r = radio del punzón % $e/2$.

e = espesor de la chapa.

R = radio desarrollado de la chapa.

- Desarrollo de una pieza embutida

Uno de los problemas fundamentales con que tropieza el técnico al proyectar una pieza por embutición, es la determinación, a priori, de la forma y dimensiones de la chapa que ha de emplear para obtener la pieza.

Para los cuerpos de sección circular y forma geométrica sencilla puede determinarse el desarrollo por medio de fórmulas (ver tabla adjunta).

DIAMETRO DE LOS DISCOS DEL DESARROLLO DE ALGUNOS CUERPOS DE REVOLUCION

CUERPO	DIAMETRO	CUERPO	DIAMETRO
	1 $\sqrt{d^2 + 4 d b - r}$		8 $1,414 d$
	2 $\sqrt{d_2^2 + 4 d_1 b}$		9 $\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
	3 $\sqrt{d_2^2 + 4 (d_1 h_1 + d_2 h_2)}$		10 $1,414 \sqrt{d^2 + 2 d b}$
	4 $\sqrt{d_2^2 + 4 (d_1 h_1 + d_2 h_2)}$		11 $\sqrt{d_2^2 + 2,28 r d_2 - 0,56 r^2}$
	5 $\sqrt{d_1^2 + 2 l (d_1 + d_2)}$		12 $\sqrt{d_2^2 + 2,28 r d_2 - 0,56 r^2}$
	6 $\sqrt{d_1^2 + 2 l (d_1 + d_2) + d_2^2 - d_1^2}$		13 $\sqrt{d_2^2 + 2,28 r d_2 - 0,56 r^2 + 4 d_2 h}$
	7 $\sqrt{d_1^2 + 2 [l (d_1 + d_2) + 2 d_2 h]}$		14 $\sqrt{d_2^2 + 4 d_2 (0,57 r + h) - 0,56 r^2}$