

# EMBUTICION DE LOS ACEROS INOXIDABLES EN VARIAS FASES

Por: Ing. Luis Alvaro Jaramillo y Luis Eduardo Arango  
Asesores SENA - C.D.T. ASTIM

Como es sabido, las chapas de acero inoxidable según su estructura pueden ser: martensíticas, ferríticas y austeníticas. En el embutido se usan las de tipo ferrítico y austenítico. Las más utilizadas están resumidas en la tabla 1.

Los aceros inoxidables ferríticos son aceros al cromo (15-30%). Aceros de bajo carbono (0.15%) no pueden ser tratados térmicamente por ser de estructura ferrítica y resistencia mecánica baja, bastante blandos y relativamente frágiles.

Los austeníticos son aceros al cromo-níquel más resistentes a la corrosión. Los más usados en procesos de embutición son los de 18% Cr y 8% Ni, mientras que el 12-12 es un acero para trabajos de embutición profunda.

La tendencia a la formación de pliegues aumenta con la resistencia a la deformación y con la disminución del módulo elástico. Los aceros inoxidables poseen estas características, presentando tendencias elevadas a la formación de pliegues.

Por tal motivo, se debe ser muy cuidadoso en las fases de reducción. Al usar una sola pasada, se puede trabajar hasta con  $B = 2$ ; cuando se requieren varias pasadas para poder trabajar con las mayores relaciones posible sin endurecer el material, se recomienda el uso de  $B = 1.3 \sim 1.4$  en la primera embutición y de  $B = 1.15 \sim 1.2$  en las siguientes o sea:

$$d_1 = (1.3 \sim 1.4) D$$

$$d = (1.15 \sim 1.2) d_{n-1}$$

Como se observa, la tendencia es muy conservadora con este tipo de material y materiales similares; su principal objetivo es el de evitar las arrugas, los recocidos, etc. Estos últimos deben efectuarse después de dos pasadas.

Como guía para ellos presentamos la tabla No. 2 con sus correspondientes medios de enfriamiento y soluciones para el decapado. Los aceros inoxidables más utilizados en el embutido son los austeníticos de la serie 300, como los que figuran al final de la tabla.

**Tabla 1** Valores de calidad de chapas de acero inoxidable en estado de recocido de ablandamiento

N.º de material SEL (¹)	Resistencia $\sigma_B$ kp/mm²	Alargamiento $\delta_1$ mín. %	Profundidad de abollado en mm, para chapas de espesor en mm			Relación de embutición $B_{100}$
			0,5	1,0	2,0	
1.4309	55	60	13,8	14,7	16,0	2,1
1.4301	60	55	12,5	13,4	14,7	2,0
1.4300	60	55	12,0	13,0	14,3	1,92
1.4310	60	50	11,4	12,2	13,7	1,86
1.4401						
1.4550						
1.4541	55	45	11,3	12,2	13,5	1,82
1.4580						
1.4571						
1.4001	55	20	8,6	9,5	11,0	1,5
1.4016	50	20				1,55

Stahl - Eisen Liste.

TABLA 2

TRATAMIENTO DE RECOCIDO Y DECAPADO

TIPO ACERO INOX	Recocido Máx. abland.	Recocido Industrial	Solución Decapado	Temperatura
501-502	830 - 843° C Enfriam. lento hasta 593° C	732 - 76 C Enfriamiento al aire	8 + 12% SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	66 - 77° C
403-410	816 - 899° C Enfriamiento al horno hasta 593° C	677 - 732°C Enfriamiento al aire	8 + 12% SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 6 + 10% ClH + 6 + 10%SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 10% NO <sub>3</sub> H + 0,5 + 1% FH	66 - 77° C 54 - 60° C 49 - 54° C
420	788 - 816° C Enfriamiento al horno hasta 593°C	677 - 732°C Enfriamiento al aire	Igual que la anterior	Idem
430	816 - 843° C Enfriamiento en horno hasta 593° C	760 - 816° C Enfriamiento al aire	Igual que la anterior	Idem
302 304 321 316	1010 - 1121° C Enfriamiento en agua	=	8 + 12% SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 6 + 8% SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> + 6 + 8% ClH 10% NO <sub>3</sub> H + 2% FH	66 - 77° C 54 - 60° C 49 - 54° C

RADIOS

Los radios del punzón suelen hacerse entre 4 - 6 veces el espesor de la chapa.

$$R = 4 \sim 6 S$$

Para el redondeado de la matriz se utilizan :

Inox. Austenítico  $R_m = 7 \sim 15 S$   
 Inox. Ferrítico  $R_m = 4 \sim 8 S$

HOLGURA

Para la primera embutición con chapas gruesas (1.5 - 3 mm S), el juego puede llegar a ser el 40% superior al espesor.

$$W = 1.4 S \text{ (chapas gruesas)}$$

En chapas delgadas, el juego debe mantenerse lo menor posible para evitar la formación de arrugas.

REDUCCION

Las chapas de estructura ferrítica se comportan relativamente mal desde la primera embutición. La relación B raramente pasa de 1.55, por lo que deben ser recocidas

desde la segunda embutición. Para mejorar la embutibilidad, se pueden trabajar en caliente a 100 grados centígrados para las chapas delgadas y 300 grados centígrados para las gruesas.

Los aceros austeníticos se comportan mucho mejor lográndose relaciones  $B = 2.1$  en la primera fase, acusan límite de ruptura relativamente alto y tienen la tendencia de perder maleabilidad durante el proceso.

Las matrices para aceros inoxidable se fabrican más robustas que las para acero común del mismo espesor de chapa, especialmente al aro de embutición y al pisador debe dárseles el doble del espesor que correspondería a su fabricación en acero común.

Las presiones del pisador son más elevadas que las que se usan en acero común y varían excediéndolas entre el 50% y 100%.

Los aros de embutición (matrices), fabricados con bronce - aluminio han dado magníficos resultados para embuticiones de piezas en acero inoxidable. Las aleaciones de este tipo, denominadas metal AMPCO, están compuestas por Al (8-14%), Fe (2.5 - 6.5%), pequeñas cantidades de Si, Mn, constituyendo el resto Cu (aproximadamente 80%). En el proceso de embutición casi siempre se utiliza un mínimo de 13% de Al. Se obtienen durezas de 300 a 400 Brinell aproximadamente.

Así se logran superficies de extremada pulcritud evi-

tándose las rayas, pliegues, etc. y asimismo la soldadura en frío.

Además, con las matrices de bronce-aluminio pueden embutirse chapas de cualquier tipo de aleación que no tengan como componente principal el cobre. Se exige como requisito indispensable que la superficie de la chapa sea de buena calidad (acabado) y que el trabajo sea en frío.

Puede utilizarse esta aleación para construir matrices de acero o fundición gris por medio de soldadura o metalizados, obviándose el tratamiento posterior de temple.

La zona cubierta por el blanco debe quedar construida en metal AMPCO en su totalidad como lo indica la fig.1.

El espesor del inserto debe medir como mínimo 5 veces el radio de la matriz.

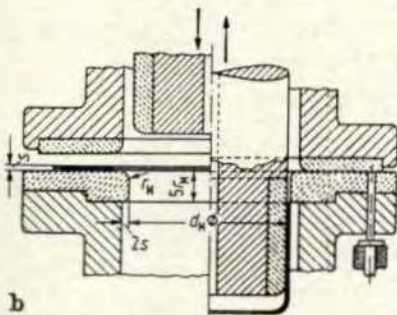
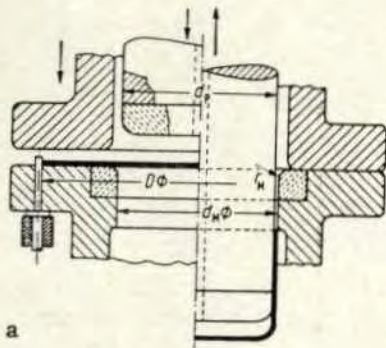
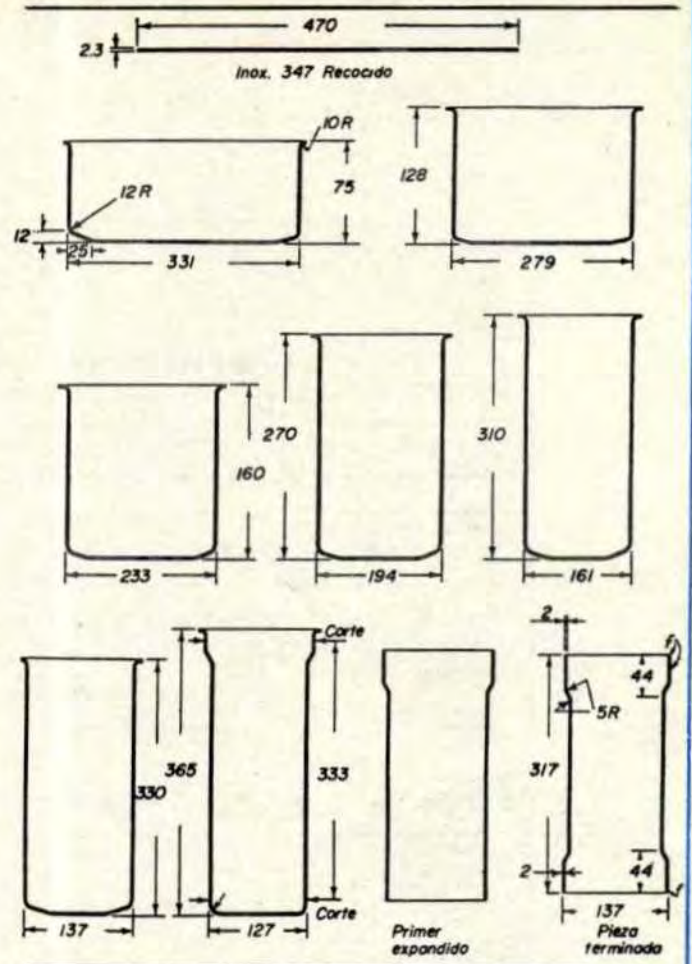


Fig 1: Matriz de embutición con inserción de piezas de bronce de varios elementos de aleación. a. incorrecto; b. correcto.

### EJEMPLO No.1

Cálculo las fases de embutición para la pieza adjunta. Material: acero inox. 302 recocido.  $S = 2.3\text{mm}$ . Indicar el recocido y el decapado.



Se recomienda recocer aceros austeníticos después de la tercera operación. Para ello debe calentarse el acero hasta 1015 grados centígrados y enfriarse al agua.

El decapado se realiza en una solución de 88 partes de agua y 12 partes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 70 grados centígrados.

Cálculo de las fases.

Tomando  $B = 1.4$ ;

$$\frac{d}{B} = \frac{D}{1} = \frac{470}{1.4} = 335 \text{ mm}; \text{ con } B = 1.2$$

$$\frac{d}{2} = \frac{335}{1.2} = 279 \text{ mm}; \quad \frac{d}{3} = \frac{279}{1.2} = 233 \text{ mm}$$

$$d = 233 = 194 \text{ mm} ; d = 194 = 161 \text{ mm}$$

$$4 \text{ ----} \quad \quad \quad 5 \text{ ----}$$

$$1.2 \quad \quad \quad 1.2$$

$$d = 161 = 134 \text{ mm} , \text{ Aprox. A } 137$$

$$5 \text{ ----}$$

$$1.2$$

$$d = 137 = 114 \text{ mm} , \text{ Aprox. A } 127$$

$$7 \text{ ----}$$

$$1.2$$

En total se necesitan 7 operaciones para llevar a cabo la embutición; el extremo faltante se conforma por expandido después del corte del fondo, la última operación de conformado a plano. Se requieren además 5 operaciones de recocido para controlar el adelgazamiento de la pared en 2 mm como solicita el plano.

La tabla 3 que se presenta a continuación es una guía para el trabajo con aceros inoxidable austeníticos.

TABLA 3		
Condiciones óptimas para la embutición profunda de los aceros inoxidable austeníticos		
Variables	Condiciones a exigir	Razones de la exigencia
Composición Química	Suministro de aceros aptos para la embutición profunda por su composición química	Con la composición adecuada es menor el endurecimiento por deformación en frío y la tendencia al agrietamiento por tensiones
Estado del material Tratamiento térmico	Recocido	Cuanto más blando es el material tanto menor es el peligro de formación de pliegues y mayor el estirado alcanzable
Superficie	De laminación en frío, recocido y decapado	La superficie decapada es más rugosa y retiene mejor al lubricante que una brillante. El material laminado en frío es más uniforme que el laminado en caliente
Espesor	Es preferible un material lo más grueso posible Las tolerancias de espesor serán las mínimas posibles	El peligro de plegado aumenta al disminuir el espesor Es de importancia para reembuticiones difíciles o si se necesitan paredes de espesor uniforme
Recorte Cantos	Cortado con herramientas afiladas; rebarbar si los cantos son rugosos	Los cantos endurecidos por deformación en frío causan fácilmente grietas
Dimensiones	El diámetro máximo será doble que el diámetro del punzón	Un recorte mayor se agrieta
Matriz* Radio	5 a 8 veces el espesor de la chapa	Un radio mayor produce pliegues, uno más pequeño grietas y endurecimiento por deformación en frío.
Superficie	Lo mejor pulimentada posible	Para evitar el desgaste y estrías en la pieza embutida
Punzón* Radio	Por lo menos 4 veces mayor que el espesor de la chapa	Un radio más pequeño causa roturas. Un radio más grande, aunque es utilizable, exige mayor presión sobre el pisador para evitar la formación de pliegues en materiales delgados
Forma	Cilíndrica	Un punzón cónico produce fácilmente pliegues
Presión del pisador*	La mínima imprescindible para evitar los pliegues	Es muy importante para recortes grandes y delgados a fin de evitar el plegado y el agrietamiento
Juego (entre punzón y matriz)	(a) Igual al espesor de chapa más un 20 a 35%	Con estos juegos se protegen las herramientas y se evitan estrías
	(b) Igual al espesor de chapa o algo más pequeño	Con estos juegos se consiguen espesores de pared más uniformes que permiten reembuticiones difíciles. Exigen una selección cuidadosa del material de la matriz
Lubricación	Debe ser muy buena	Para evitar desgaste y estricciones
Velocidad	Pequeña, 9 a 15 m/min	Los aceros austeníticos se endurecen mucho y se rompen si se les conforma muy rápidamente

Tabla 3 : Condiciones óptimas para la embutición profunda de los aceros inoxidable austeníticos.

## EMBUICION EN VARIAS FASES PARA PIEZAS NO CILINDRICAS DE REVOLUCION

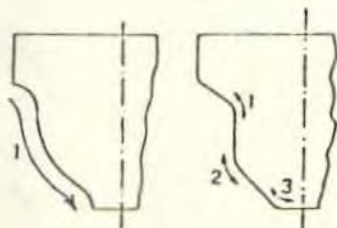
La diferencia esencial entre piezas cilíndricas y piezas redondeadas o cónicas consiste en el cambio de espesor en la periferia, debido al mayor efecto de estirado durante el proceso. Como consecuencia, la pared de este tipo de piezas resulta inestable, con gran tendencia a romperse.

Para conformar una pieza cónica profunda, el método consiste en formar un cuerpo cilíndrico en cascada y terminarlo luego mediante una matriz de reestampado que tiene el perfil exacto de la pieza deseada.

La reducción de diámetros debe realizarse con precaución para no cargar demasiado el material. Las alturas de las partes cilíndricas en cascada se determinan fácilmente de acuerdo con la sección del cono.

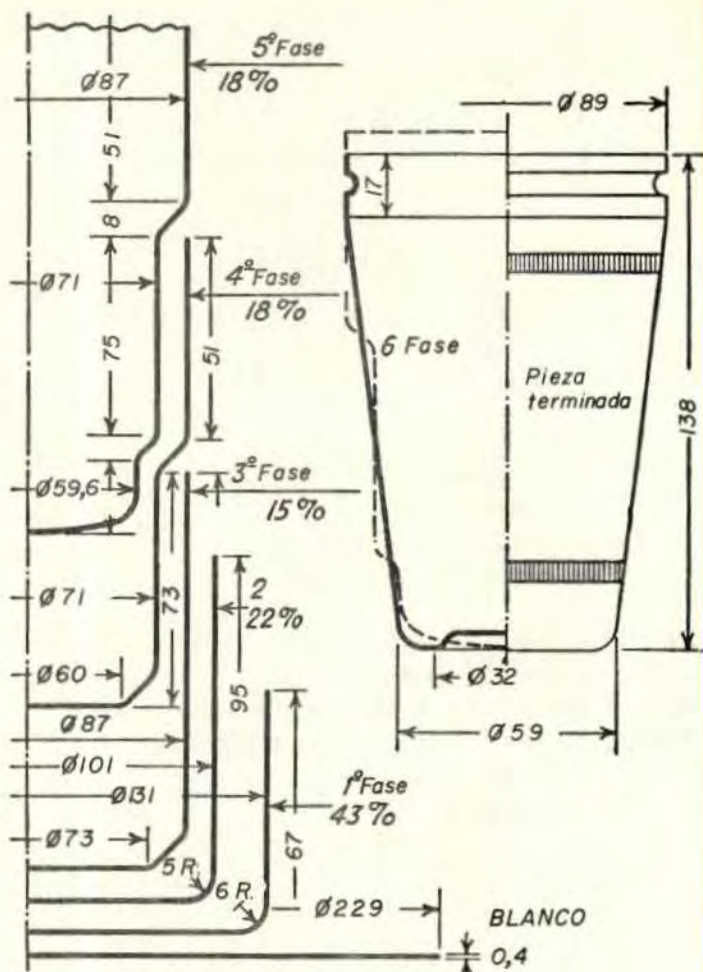
Cada elemento de la cascada se determina como una pieza de configuración cilíndrica. Pero obviamente las relaciones se disminuyen de acuerdo con los esfuerzos aplicados, debido a la acritud resultante. Para la ejecución de piezas de contorno complicado se observan por lo general las siguientes reglas:

1. Cuanto más complicado sea el perfil, mayor será el número de operaciones necesarias.
2. Si la pieza se compone de elementos cilíndricos, las reducciones se efectúan como si se tratara de una pieza cilíndrica.
3. Si la pieza contiene un elemento cónico, la reducción debe ser menor.
4. En las operaciones intermedias, el punzón debe tener un chaflán a 45 grados (ver fig. 2 derecha), puesto que las partes inclinadas y verticales permiten un deslizamiento más fácil del material.
5. El enderezamiento de los ángulos debe efectuarse en la última operación.
6. Las fases de embutición se realizan sucesivamente en el orden que muestra la fig. 2 y no de un sólo golpe.



A la izquierda método inadecuado; a la derecha método correcto.

7. En cada operación se debe estirar la cantidad de material estrictamente necesaria para constituir la forma de la siguiente fase. Mucha profundidad causará arrugas, poca profundidad ruptura.



Calcular las fases para el producto de la gráfica, material: aluminio recocido  $S = 0.4 \text{ mm}$   $D = 229 \text{ mm}$ .  
 $B = 2.1$ ,  $B = 1.6$  sin recocido.  
 100                      2

Como se trata de una pieza de forma cónica hay que bajar la reducción de  $B = 2.1$   
 1

Se escoge  $B = 1.7$ ;  $B = 1.3$   
 1                      2

$B = B = B = 1.2$   
 3    4    5

VALORES TEORICOS

VALORES REALES

$d = D = 229 = 135 \text{ mm}$   
 1                      B    1.70

131 mm

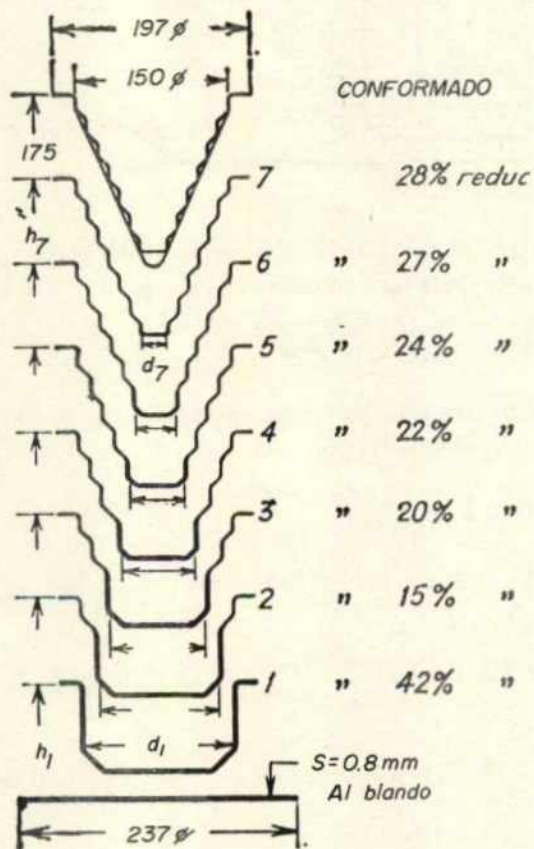
$$d = \frac{d_1}{B} = \frac{135}{1.2} = 112 \text{ mm} \quad 101 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_2}{B} = \frac{112}{1.2} = 93 \text{ mm} \quad 87 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_3}{B} = \frac{93}{1.2} = 77 \text{ mm} \quad 71 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_4}{B} = \frac{77}{1.2} = 64 \text{ mm} \quad 59 \text{ mm}$$

Los datos reales se toman de un dibujo de la pieza a escala, elaborando un pre-cálculo de las diferentes fases. Se empieza por una aproximación mediante embuticiones cilíndricas hasta el diámetro mayor de la pieza



cónica, o sea a la medida del diámetro  $\phi = 89 \text{ mm}$ , y luego con dos reducciones en cascada hasta obtener el diámetro menor  $\phi = 59 \text{ mm}$ .

Las alturas se calculan como los ejemplos anteriores, teniendo en cuenta que los radios y biselados de los fondos no son despreciables.

Además, desde la tercera fase se configura el borde del fondo a 45 grados, siguiendo la regla 4 enumerada anteriormente.

La figura 3 muestra una pieza totalmente cónica que ha sido producida en 8 etapas, (7 embuticiones).

Material blando  $S = 0.8 \text{ mm}$ . Se dejan al lector los cálculos respectivos.

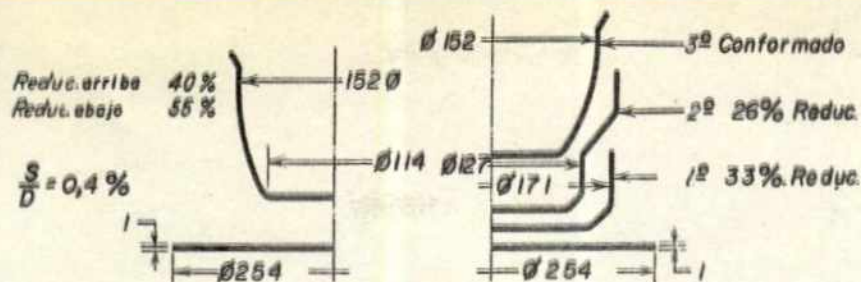
$D = 273 \text{ mm}$	$h = 0$
	0
$d = 150 \text{ mm}$	$h = 84 \text{ mm}$
1	1
$d = 127 \text{ mm}$	$h = 96 \text{ mm}$
2	2
$d = 102 \text{ mm}$	$h = 113 \text{ mm}$
3	3
$d = 79 \text{ mm}$	$h = 128 \text{ mm}$
4	4
$d = 60 \text{ mm}$	$h = 129 \text{ mm}$
5	5
$d = 44.5 \text{ mm}$	$h = 156 \text{ mm}$
6	6

En el conformado final se logra la totalidad de la altura  $h = 175 \text{ mm}$ .

Obsérvese que en la primera fase ya se ha logrado el diámetro final de 150 mm que inicia el cono y la brida externa.

### EJEMPLO No.3

Calcular las fases para la pieza de perfil redondeado que muestra la gráfica. Mat. SAE 1010.



El problema aquí es el contorno, ya que la reducción del fondo es excesiva (55%), quedando parte del material fuera de control.

Este tipo de piezas también se reduce en cascada, con B menores que B

para SAE 1010,  $B = 1.7$  baja embutibilidad. Según el diagrama se tiene:

$$B = \frac{D}{d} = \frac{254}{171} = 1.48 < 1.7 = B$$

$$B = \frac{D}{d} = \frac{254}{127} = 2.0 > 1.7 = B$$

Al resolver el ejemplo a la inversa, se concluye que se han empleado reducciones menores a las normales.

Para obtener la forma deseada, se necesita una tercera operación de conformado. Al igual como para las piezas cónicas, hay que acercarse en la primera fase al diámetro mayor, en este caso es el de la pestaña oblicua.

#### EJEMPLO No.4

Calcular las fases para obtener por embutición la pieza que ilustra el dibujo.

Mat.: acero inox. 316 recocido.



Esta pieza necesita un detenido análisis antes de proyectarla.

En primer lugar, su configuración es engañosa, ya que se podría pensar que el cuello se obtiene fácilmente. Pero no es así debido a los radios relativamente grandes (57 mm), dejando parte del material fuera de control. A esto se suma que el acero inoxidable 316 tiende a la formación de pliegues.

El fondo es cortado sin estrangulación lo cual obliga a una operación en el torno (costoso) o a un conformado antes de finalizarlo para reducir costos, de tal forma que el cuello no presente deformaciones o "colas". Para evitar arrugas es necesario disponer de grandes presiones en el prensachapa debido al radio y a la embutición profunda.

$$R = \frac{D-d}{d} = \frac{438-171}{171} = 0.61 > 0.60$$

Este ejemplo ha sido tomado de la práctica y se ha resuelto de la siguiente manera:

1a. EMBUTICION :  $D = 438 \text{ mm.}$

$$d \approx 140 + 2 \times 38 = 216 \text{ mm.}$$

$$B = \frac{D}{d} = \frac{438}{216} = 2.02$$

2a. EMBUTICION :  $d = 216 \text{ mm.}$

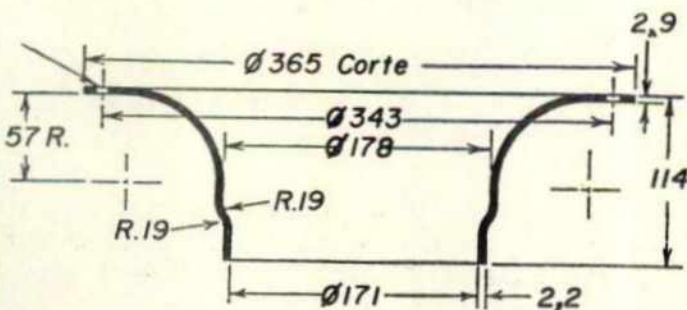
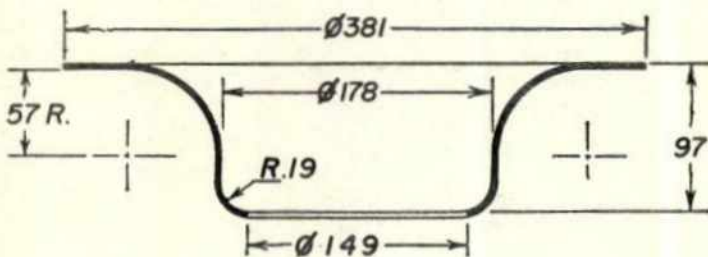
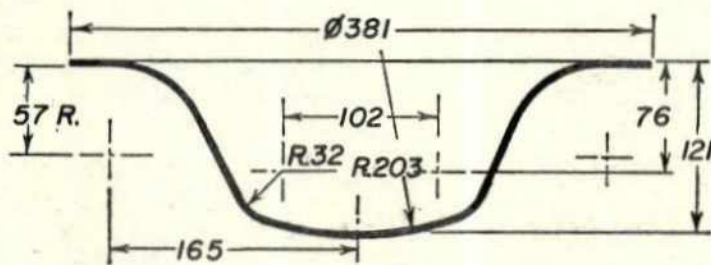
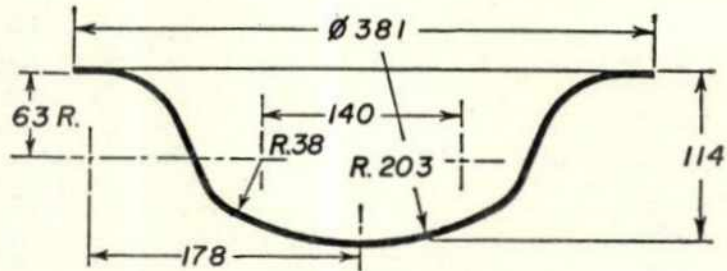
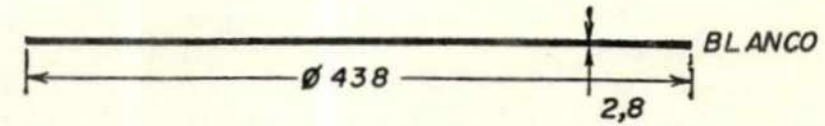
$$d \approx 102 + 2 \times 32 = 166 \text{ mm.}$$

$$B = \frac{D}{d} = \frac{216}{166} = 1.30$$

3a. EMBUTICION  $d = 166 \text{ mm.}$   
2

$d = 178 \text{ mm.}$   
3

$B = 178 = 1.07$   
3  
166



### CONCLUSION

Del análisis anterior se deduce que puedan producirse arrugas en la primera embutición, debido a la alta relación que se está usando, la cual requiere de altas presiones de pisado, por otro lado favorece la gran reducción inicial. Las otras reducciones no tienen ningún problema. Sólo la experiencia permite que este diseño sea aceptable y no presente riesgos.