



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

EMBUTIDO DE ACERO INOXIDABLE

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

**PRESENTA:
MENDEZ CORDOVA CARLOS ALBERTO**

**ASESOR:
ING. VELAZQUEZ VELAZQUEZ DAMASO**





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Introducción	2
I. ¿Qué es los aceros inoxidables? Y su clasificación	4
I.1. Martensíticos	8
I.2. Ferríticos	11
I.3. Austeníticos	15
I.4. Dúplex	19
I.5. Endurecimiento por envejecimiento	20
II. ¿Qué es el embutido?	21
III. Tipos de embutido	29
III.1. Rechazado manual	29
III.2. Simple	33
III.3. Telescópico(segundo paso)	35
III.4. Doble Acción	37
III.5. Inverso	38
IV. Procesos para el cálculo de un embutido	40
III.1. Material del blanck	40
III.2. Etapas de embutido	45
III.3. Radio de punzón y matriz	48
III.4. Claro entre punzón y matriz	49
III.5. Presión para embutición	51
V. Desarrollo de una pieza embutida	54
Conclusiones	59
Bibliografía	60

Introducción

A principios del siglo XX, algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo (Cr) al acero, éste no se oxidaba en condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno.

En esencia los aceros inoxidables son aceros de alta aleación y bajo contenido de carbono, que contienen 10.5% de cromo como mínimo, siendo esta adición la que le proporciona sus cualidades de resistencia a la corrosión.

Por lo anterior, el acero inoxidable juega un papel muy importante en la fabricación de piezas metálicas mediante el proceso de embutido, ya que por sus características propias de este material metálico ferroso es adecuado para la producción de utensilios de cocina e instrumentos médico-quirúrgicos porque soportan la corrosión.

La elección del material se basa en la complejidad de la pieza a fabricar y, desde luego, de los costos del material a emplear, considerando que la gran variedad que tienen los aceros inoxidables en Martensíticos, Ferríticos y Austeníticos, nos permite hacer un análisis minucioso para identificar el más adecuado a nuestras necesidades, aunque no es tan sencillo como parece.

También es importante considerar que todos los aceros se pueden embutir, dependiendo del uso que se le va a dar, además de tener en cuenta sus cualidades físicas y mecánicas para seleccionarlo adecuadamente.

El proceso de embutido se refiere al proceso de conformado en frío de los metales, por el que se transforma un disco o pieza recortada, según el material, en piezas huecas, e incluso partiendo de piezas previamente embutidas, estirarlas a una sección menor con mayor altura.

El Embutido de Chapas Metálicas es uno de los procedimientos más comunes en la elaboración de piezas huecas para diversas aplicaciones, que van desde el hogar, la oficina y la industria en general.

Por lo anteriormente expuesto, esta tesis está elaborada para conocer los diferentes tipos de aceros y su clasificación, así como hacer una elección de acero inoxidable

para embutido, ya que el material más común para embutir es el aluminio y no hay tanto conocimiento para el acero inoxidable.

En el primer capítulo se encuentra plasmada todo lo relacionado con los aceros inoxidables, incluyendo su clasificación, características, aplicaciones y proceso de envejecimiento.

El segundo capítulo comprende el proceso de embutido, incluyendo los diversos tipos y la forma de efectuarlo en la industria, indicando además, las diversidad de herramientas empleadas en dicho proceso.

El capítulo tercero está dedicado a los cálculos necesarios para efectuar correctamente el proceso de embutido, es decir, se hallarán las fórmulas y constantes principales para desarrollar las piezas que serán elaboradas por embutición.

Para finalizar, en el último capítulo se muestra el procedimiento adecuado del desarrollo de una pieza que será elaborada por el proceso de embutido.

Teniendo estos conocimientos de embutición y de los tipos de aceros inoxidables, podremos seleccionar el acero que se adecue a nuestras necesidades, ya sea para la elaboración de una pieza o para el uso que se le dé a dicho objeto.

I. ¿Qué es el acero inoxidable? y su clasificación

La mayoría de los metales se oxidan, por ejemplo, la plata (Ag) se pone negra, el aluminio (Al) cambia a blanco, el cobre (Cu) cambia a verde y, ordinariamente, el acero cambia a rojo. En el caso del acero, el hierro (Fe) presente se combina con el oxígeno del aire para formar óxidos de hierro o “herrumbre”.

A principios del siglo XX, algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo (Cr) al acero, éste no presentaba “herrumbre” bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno.

En esencia los aceros inoxidables son aceros de alta aleación y bajo contenido de carbono que contienen 10.5% de cromo como mínimo, siendo esta adición la que le proporciona sus cualidades de resistencia a la corrosión

Es importante mencionar que el cromo contenido en los aceros inoxidables forma una película de óxido de cromo (Cr_2O_3) pasivamente continua, muy resistente y estable en la superficie de los mismos como se muestra en la figura 1, [1].



Figura 1. La formación de la película pasiva, [1].

Esta película es extremadamente delgada (2 a 5 X 10⁻¹⁰ mm de espesor) y se encuentra aún en los aceros inoxidables con acabado súper-espejo, [1].

Asimismo existen una gran variedad de aceros inoxidables, teniendo cada uno de ellos características y límites particulares.

Sin embargo, su propiedad más importante es su resistencia a la corrosión, ya que sin esta propiedad, estos aceros tendrían poca aplicación comercial, ya que sus propiedades mecánicas pueden ser igualadas o superadas por otros aceros de menor costo.

Sin duda es uno de los mayores adelantos tecnológicos en la historia de la metalurgia: el descubrimiento del verdaderamente limpio acero inoxidable.

A. Desarrollo histórico

Dentro de la siderurgia, la historia del acero inoxidable es relativamente corta y de hecho está en desarrollo continuo. Actualmente se encuentra en una etapa en la que los nuevos materiales deben vencer la resistencia de los patrones de compra existentes. En teoría, sólo unos pocos, los innovadores, lo compran y lo utilizan.

La paternidad y fecha de aparición del acero inoxidable son muy distintas y dieron lugar a célebres procesos, sin embargo, parece ser que su aparición en la industria se realizó simultáneamente en diversos países, [1].

En 1913, Brearley reveló en Inglaterra la buena resistencia a la corrosión de los aceros que contenían del 9 al 16% de cromo, patentando esta aleación en Canadá y Estados Unidos.

Casi simultáneamente, en los Estados Unidos, Elwood Haynes, quien había estudiado las aleaciones cobalto-cromo y cobalto-cromo-tungsteno, mencionaba la notable resistencia a la corrosión, incluso después de la adición de hierro, pero a condición de que los aceros contengan en su composición, al menos, 10% de cromo y 5% de cobalto,[1].

Así mismo, en una memoria publicada en 1914 en Alemania, Strauss y Maurer señalaron la pro-resistencia a la herrumbre y a los ácidos de aquellos aceros que contenían una cantidad considerable de cromo y níquel (Ni).

En 1917 se patentaron en Francia los aceros que contenían del 10 al 15% de cromo y 20 al 40% de níquel como resultado de los trabajos realizados por Cheverd, [1].

No obstante que las patentes datan de 1912, fue después de la primera guerra mundial, —alrededor de 1920—, cuando se publicó un trabajo detallado y se lanzaron los aceros al mercado, [1].

Con las innovaciones técnicas desarrolladas después de la segunda guerra mundial, se introdujeron los procedimientos técnicos de aceleración al oxidoconvertidor, el laminador Sendzimir continuo, el trenplanetario para la laminación en caliente, la colada continua, etcetera., lo que ocasionó un notable incremento de la producción con el consiguiente abaratamiento de los costos de producción y, por ende, un precio más comercial en el mercado.

B. Aleaciones

Debido a que los metales puros presentan propiedades mecánicas pobres, rara vez tienen aplicaciones industriales, sin embargo, se ha desarrollado una gama muy amplia de aleaciones con propiedades específicas, adecuadas para aplicaciones industriales particulares. En términos generales, las aleaciones son mezclas de un metal base, el cual está presente en mayor proporción y otro u otros elementos (metálicos o no metálicos). Mismos que influyen en las propiedades de la aleación como se muestra en la figura 2, en la cual al modificar el 304 que tiene una aleación específica, al ser modificada, ya sea agregando más elementos o quitando se transforma en otro tipo de acero de mayor calidad o menor, pero dependiendo de las necesidades de uso, como el 403, que se forma al quitarle níquel al 304, pero agregándole cromo y molibdeno se convierte en un superferrítico, así como las demás ramificaciones, [1].

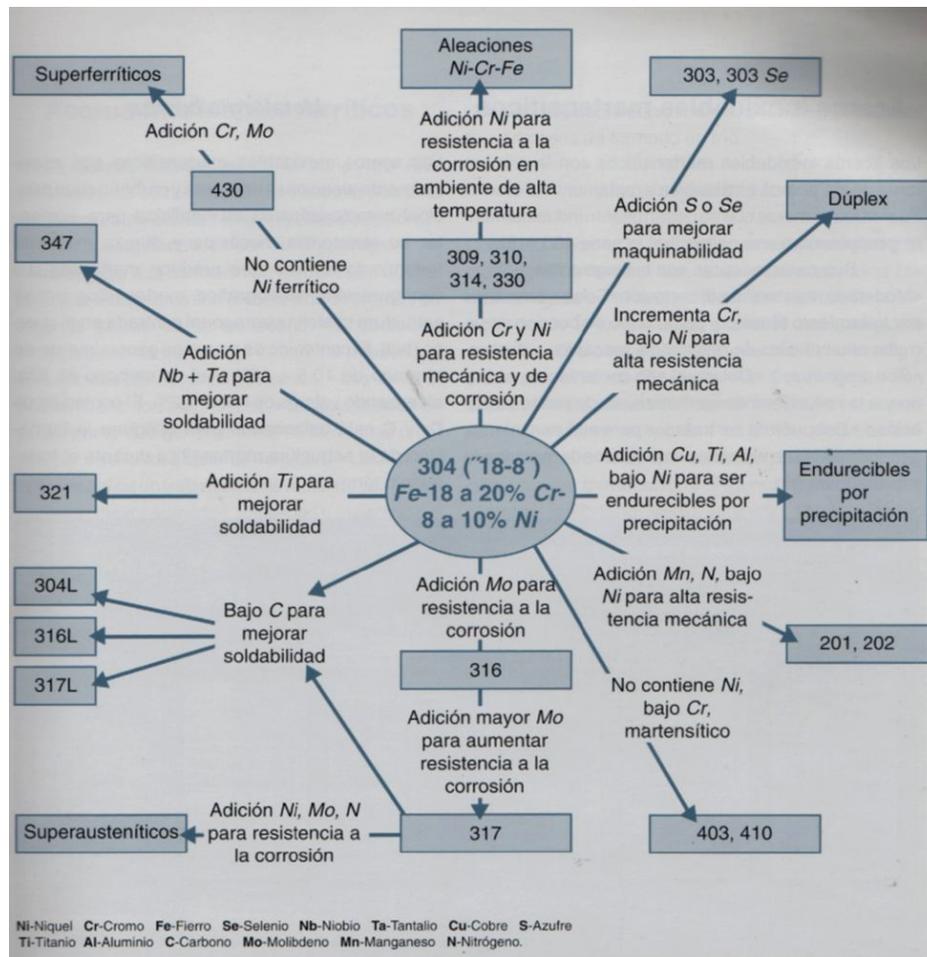


Figura 2. Tipos de aleaciones del acero 304, [1].

C. Clases de acero inoxidable

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco diferentes familias; cuatro de éstas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita, y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta familia son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina. tabla 1

Clase	Clasificación AISI	Ejemplos de especificaciones
I Martensíticos	SERIE 400	410, 420, 431
II Ferríticos		409, 430, 434
III Austeníticos	SERIES 200 y 300	304, 304L, 321, 316
IV Dúplex	Se usa el nombre comercial	329, 2205
V Endurecibles por precipitación		17-4 PH, 15-5 PH 17-7 PH, 15-7 MO

Tabla 1. Clasificación de los aceros inoxidables, [1].

D. Operaciones de transformación

Una vez conociendo la clasificación de aceros inoxidables, podemos ver cómo se comporta en diferentes operaciones de transformación como es el pulido, el embutido entre otras. tabla 2

Características de fabricación											
Grupo	Tipo	L	E	L	B	L	NO	E	B	E	B
Austenítico	201, 202, 301, 302, 304, 304L, 305	L	E	L	B	L	NO	E	B	E	B
	316, 316L, 317, 317L	L	E	L	B	L	NO	E	B	E	B
Ferrítico	430, 439	B	L	B	B	B	NO	B	B	B	B
Martensítico	403, 410	B	L	B	B	B	SI	B	B	P	B
	420	L	L	B	B	B	SI	L	B	P	B

CODIGO
E = EXCELENTE
B = BUENO
L = LIMITADO
P = POBRE

Tabla 2. Operaciones de transformación de los aceros inoxidable, [3].

I.1 Martensíticos

Los aceros inoxidable martensíticos son la primera rama de los aceros inoxidable simplemente al cromo. Fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente y representan una porción de la serie 400 AISI (American Iron Steel Institute).

Sus características son:

- Moderada resistencia a la corrosión
- Son endurecibles por tratamiento térmico y, por lo tanto, se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
- Son magnéticos. Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad.
- Después de ser tratados para endurecimiento, generalmente son utilizados en procesos de maquinado y formado en frío.

a) Metalurgia básica

Los aceros inoxidable martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono, cuya principal característica es su habilidad para aumentar su resistencia mecánica y dureza mediante tratamiento térmico que produce martensita. La configuración metalográfica martensítica posee estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo (b.c.t). figura 3. El contenido de cromo es generalmente en el rango de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%. El contenido de Cr y C está balanceado para asegurar la formación de la estructura martensítica durante el tratamiento térmico.



Figura 3. Estructura de un acero martensíticos, recocido y de composición: c = 0.43%; Si = 0.76%; Mn = 0.89%; c.- = 16.75%; Mo = 122%, [1].

b) Familia de los aceros inoxidable martensíticos

En la tabla 3 se muestran los aceros martensíticos más comunes y con sus propiedades mecánicas así como sus adiciones con otros elementos, ya que en algunos casos es el mismo número solo que se le agrega una letra, esto en debido a que contiene otro elemento o diferente porcentaje de alguno de estos elementos, como en el caso del 440C, 440B y 440^a, que son el mismo acero inoxidable solo que con diferente porcentaje de Carbono (C) o en el caso del acero 416 y 416Se, son del mismo tipo, solo que el 416Se contiene Selenio.

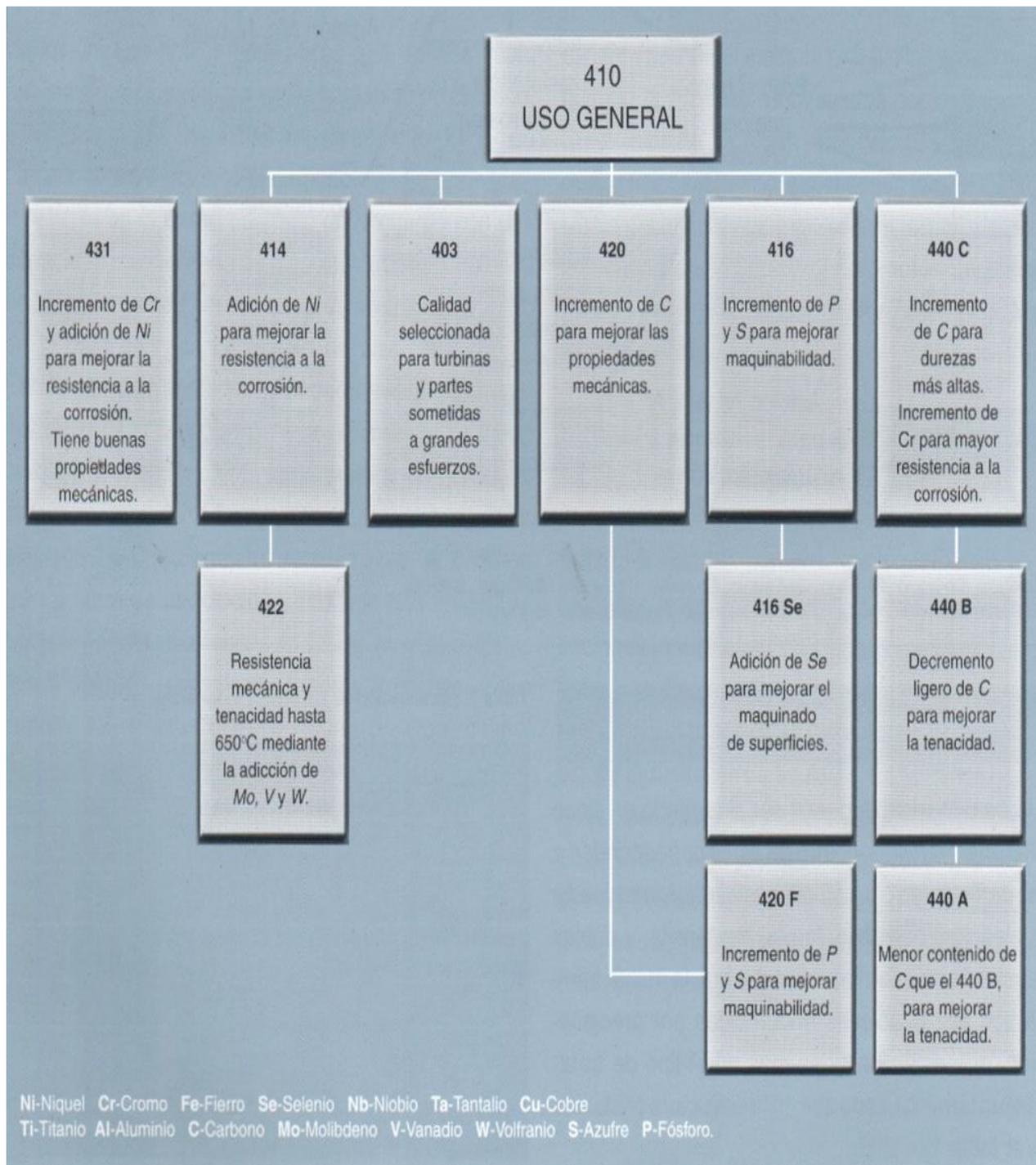


Tabla 3. Propiedades mecánicas de la familia de los martensíticos, [1].

A continuación se muestran los usos o aplicaciones más comunes, con base a sus propiedades físicas de los martensíticos y de sus adiciones, ya que al adicionar más elementos estos aceros pueden ser utilizados para otro fin, lo cual es bueno para los inoxidables debido a la amplia gama de aceros.

c) Aplicaciones más comunes de los grados martensíticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo AISI	Número UNS	
403	(S40300)	Tubos de Bourdon, partes críticas de maquinaria a alta temperatura, partes de motores jet, partes de turbinas de gas o vapor.
410	(S41000)	Tuercas y tornillos, bushings, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación del petróleo, partes para bombas, válvulas, partes para turbinas a gas o vapor, vajillas, pernos, partes micrométricas.
414	(S41400)	Equipo para minas, tijeras, láminas calibradoras, flechas, remaches, brocas, asientos para válvulas.
416	(S41600)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, cabezas de palos de golf, partes de bombas, flechas, partes para válvulas.
416Se	(S41623)	Adición de Se para mejorar el maquinado.
420	(S42000)	Bushings, cubiertos, instrumentos dentales y quirúrgicos, anzuelos, engranes, hojas de cuchillos, moldes, partes de bombas, herramientas, partes para válvulas, llaves.
420F	(S42020)	Incremento de <i>P</i> y <i>S</i> para mejorar maquinabilidad.
422	(S42200)	Resistencia mecánica y tenacidad hasta 650°C mediante la adición de <i>Mo</i> , <i>V</i> , y <i>W</i> .
431	(S43100)	Conectores, cerraduras, partes para transportadores, equipo marino, flechas de propelas, flechas de bombas, resortes, partes para válvulas.
440A	(S44002)	Cuchillería.
440B	(S44003)	Cuchillería, partes para válvulas, partes resistentes al secado.
440C	(S44004)	Inyectores, partes para válvulas, equipo quirúrgico, partes resistentes al desgaste, cubiertos.

Tabla 4. Aplicaciones de los aceros martensíticos, [1].

I.2. Ferríticos

Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI mantienen su estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión.

Sus características son las siguientes:

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y en algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío; no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Las aleaciones ferríticas son magnéticas.
- Su soldabilidad es pobre, por lo que, generalmente se limitan las uniones por soldadura a calibres delgados.
- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión
- Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío.

a) Metalurgia básica

Como su nombre lo indica, tienen una configuración metalográfica ferrítica con la estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc), que se mantiene estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión. El cromo inhibe la formación de austenita y promueve la formación de ferrita figura4. Estos aceros son esencialmente aleaciones con cromo, cuyo contenido es usualmente del rango de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08% en relación con los martensíticos. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características, [1].

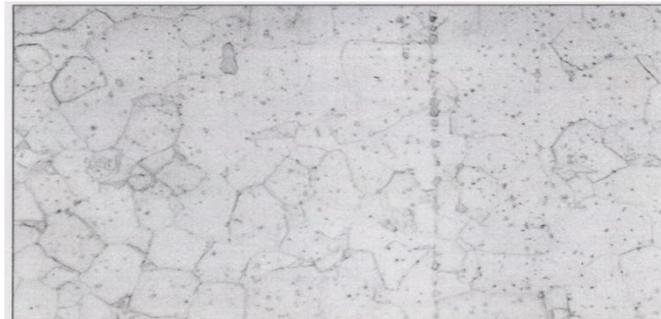


Figura 4. Estructura de acero ferrítico, recocido y de composición: C 0.090%; Si = 1.20%; Mn = 0.84%; Cr = 17.30% y Al 0.92%, [1].

b) Familia de los aceros inoxidables ferríticos

En la familia de los ferríticos el acero más usado o el comunes el 430, ya que es el más comercial y por lo tanto el más económico dentro de los ferríticos, al igual que en los martensíticos se les pueden adicionar otro elemento como en el caso del 430, 430F y 430F Se. tabla 5

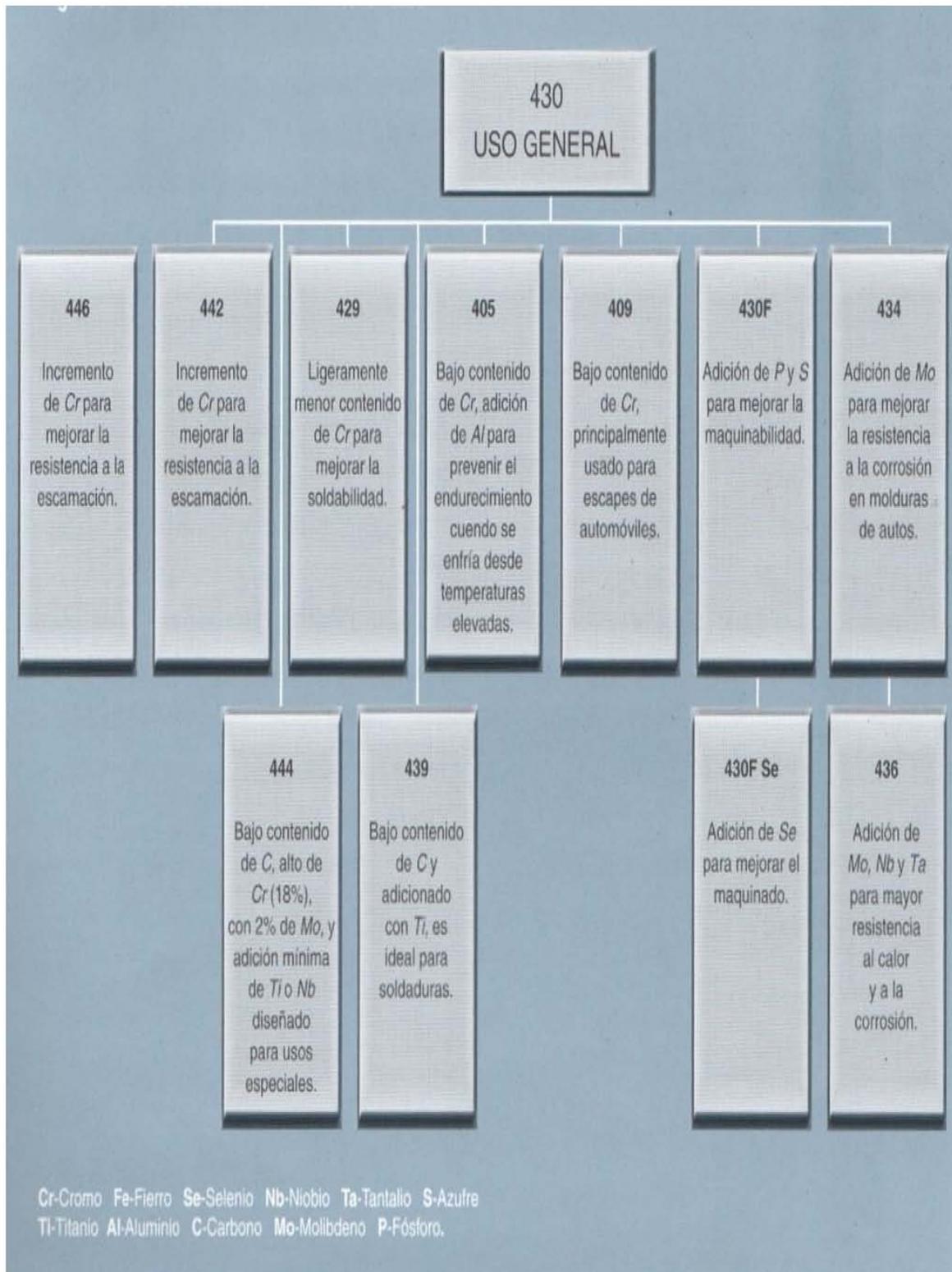


Tabla 5. Propiedades mecánicas de la familia de los ferríticos, [1].

c) Aplicaciones más comunes de los grados ferríticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo	Número	
AISI	UNS	
405	(S40500)	Tubing para intercambiadores de calor, partes resistentes al calor, equipo para refinación del petróleo, racks para templado de acero.
409	(S40900)	Silenciadores y convertidores catalíticos para automóviles, cajas de trailer, tanques de fertilizantes, contenedores.
429	(S42900)	Ligeramente menor contenido de <i>Cr</i> para mejorar la soldabilidad.
430	(S43000)	Adornos y molduras automotrices, materiales de construcción, equipo químico de proceso, cremalleras, partes para quemadores, intercambiadores de calor, adornos interiores arquitectónicos y paneles, adornos y equipo de cocinas, equipo para proceso de ácido nítrico, equipo para refinación de petróleo, tubos de protección de pirómetros, aparatos científicos, recipientes de almacenamiento, tubing.
430F	(S43020)	Cerraduras, tuercas y tornillos, conectores, partes para quemadores, equipo para refinación del petróleo, flechas de bombas, partes de válvulas.
430F Se	(S43023)	Adición de <i>Se</i> para mejorar el maquinado.
434	(S43400)	El uso de este tipo es generalmente en el área de adornos y molduras automotrices donde es importante tener una buena resistencia a la corrosión.
436	(S43600)	Usado generalmente en el área de molduras automotrices donde es importante su mejorada resistencia a la corrosión.
439	(S43035)	Bajo contenido de <i>C</i> y adicionado con <i>Ti</i> , es ideal para soldadura, también se usa en forma de alambre para cubiertas de rines de automóvil, así como en tanques de agua caliente.
442	(S44200)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.
444	(S44400)	Bajo contenido de <i>C</i> , alto de <i>Cr</i> (18%), con 2% de <i>Mo</i> , y adición mínima de <i>Ti</i> o <i>Nb</i> , diseñado para usos especiales.
446	(S44600)	Partes para quemadores, intercambiadores de calor, silenciadores tubos para pirómetros, válvulas y conectores, bases para tubos de rayos-X.

Tabla 6. Aplicaciones de los aceros martensíticos, [1].

I.3 Austenítico

Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión.

Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión.
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- Excelente soldabilidad.
- Excelente factor de higiene y limpieza.
- Formado sencillo y de fácil transformación.
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas, bajas temperaturas (criogénicas) previniendo la fragilización, y altas temperaturas (hasta 925°C).
- Son esencialmente no magnéticos. Pueden ser magnéticos después de que son tratados en frío. El grado de magnetismo que desarrollan después del trabajo en frío depende del tipo de aleación de que se trate.

a) Metalurgia básica

Como su nombre lo indica, tienen configuración metalográfica austenítica. Esta estructura cristalina es cúbica centrada en las caras (fcc), figura 5. Esta familia de aceros se obtiene adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno.

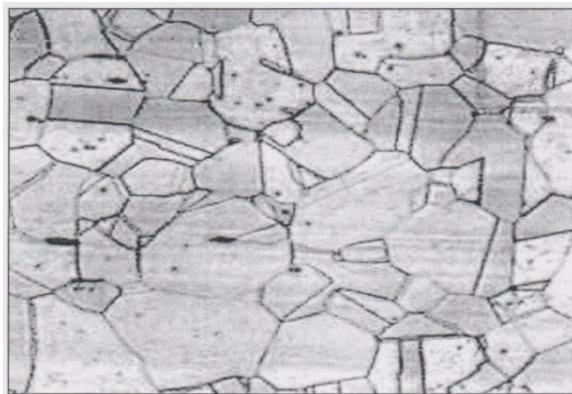


Figura 5. Estructura de acero austenítico, [1].

El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0.03 a 0.08%.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación y a la corrosión hasta temperaturas aproximadas de 650°C en una variedad de ambientes. El níquel, y en menor extensión el manganeso, se adiciona a estos aceros para estabilizar la fase austenítica en un amplio rango de temperaturas y evitar así su transformación en martensita cuando son enfriados rápidamente a temperatura ambiente.

Los aceros austeníticos se dividen en dos categorías:

- 1) Serie 300 AISI. Aleaciones cromo-níquel.
- 2) Serie 200 AISI. Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno.

A continuación se tiene una descripción de cada uno de estos grupos

1) Serie 300 AISI

Es la más extensa y son aleaciones Cr-Ni. El níquel es un elemento estabilizador o formador sustitucional de austenita, y se emplea con este propósito en un porcentaje de 4 a 37%. La serie 300 AISI mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También pueden contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son utilizados para conferir ciertas características, como podría ser el prevenir en las estructuras soldadas la corrosión en la región cercana a la soldadura. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

2) Serie 200 AISI

Son aleaciones Cr-Mn-N y representan la más reciente adición a la familia austenítica. Contienen menor cantidad de níquel —hasta 7%— y mantienen la estructura austenítica con altos niveles de nitrógeno. El manganeso de 5 a 20% es necesario en estas aleaciones bajas en níquel para aumentar la solubilidad del nitrógeno en la configuración austenítica, además de prevenir la transformación a martensita.

La adición de nitrógeno también incrementa la resistencia mecánica.

b) Familia de los aceros inoxidables austeníticos

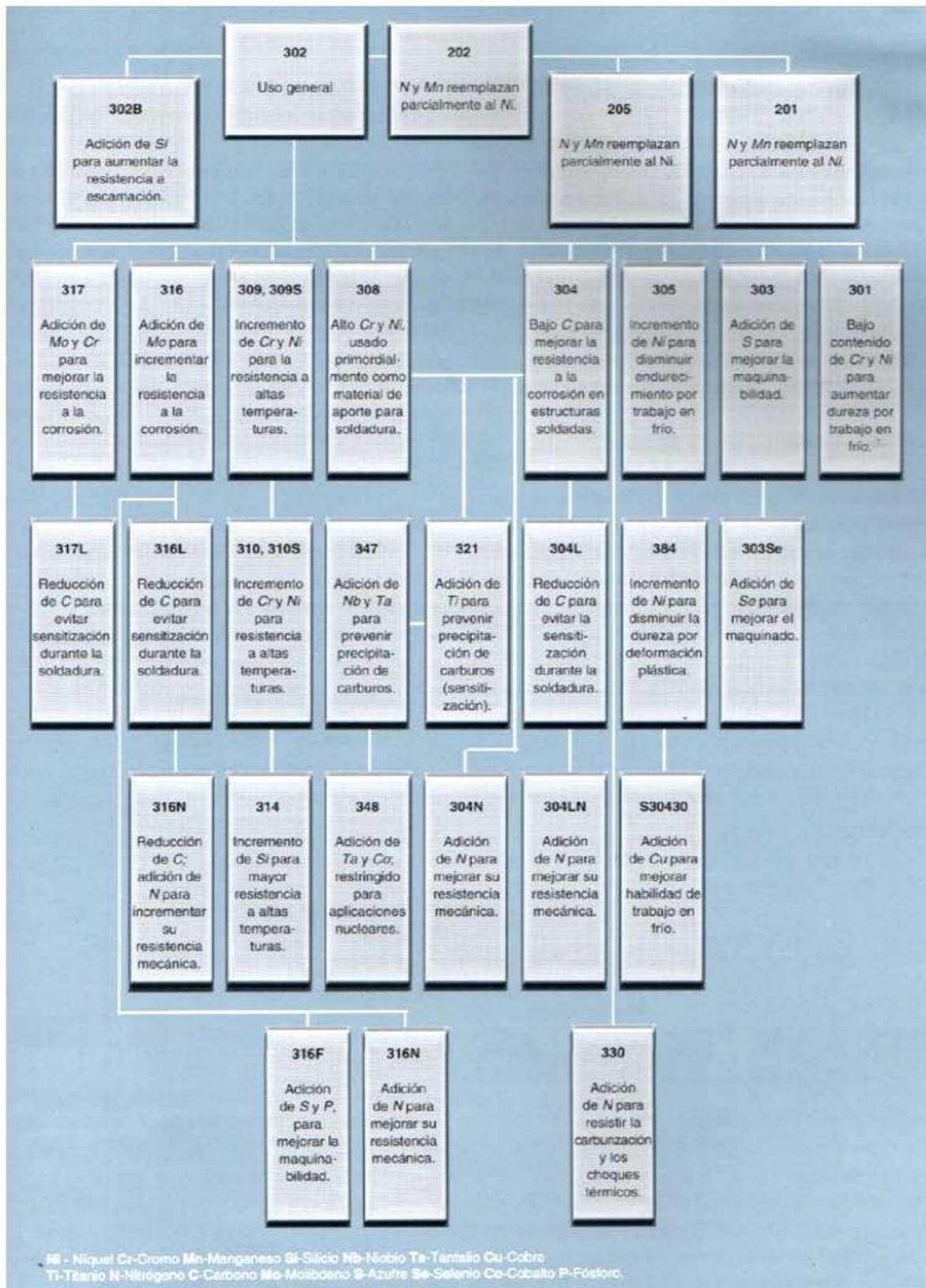


Tabla 7. Propiedades mecánicas de la familia de los austeníticos, [1].

c) Aplicaciones más comunes de los grados austeníticos.

Grados		Aplicaciones más comunes
Tipo	Número	
AISI	UNS	
301	(S30100)	Partes de aviones, adornos arquitectónicos, cajas de ferrocarril y de trailer, cubiertas de rines, equipo de proceso para alimentos.
303	(S30300)	Conectores, cerraduras, tuercas y tornillos, bushings, cremalleras, partes maquinadas, partes para bombas, flechas.
303Se	(S30323)	Pernos, tornillos, tuercas, accesorios para aviones, remaches.
304	(S30400)	Equipo químico de proceso, equipo de proceso y manejo de alimentos, intercambiadores de calor, equipo para hospitales.
304L	(S30403)	Reducción de <i>C</i> para evitar la sensitización durante la soldadura .
305	(S30500)	Equipo para industria del café, reflectores, partes con calentamiento y enfriamiento continuos.
308	(S30800)	Hornos industriales, usado primordialmente como material de aporte para soldadura.
309	(S30900)	Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de quemadores,
309S	(S30908)	de turbinas de gas, intercambiadores de calor.
310	(S31000)	Calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros,
310S	(S31008)	equipo químico de proceso.
316	(S31600)	Adornos arquitectónicos, equipo químico de proceso, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.
316L	(S31603)	Reducción de <i>C</i> para evitar sensibilización durante la soldadura.
316LN	(S31651)	Reducción de <i>C</i> ; adición de <i>N</i> para incrementar su resistencia mecánica.
317	(S31700)	Tornillos y alambre quirúrgico, equipo farmacéutico, equipo químico de proceso.
317L	(S31703)	Reducción de <i>C</i> para evitar sensibilización durante la soldadura.
321	(S32100)	Equipo químico de proceso, recipientes a presión y de almacenamiento, partes de motores jet.
330	(N08330)	Hornos de recocido, equipo químico de proceso, partes para turbinas de gas e intercambiadores de calor.
347	(S34700)	Equipo para tratamientos térmicos, tanques soldados para el almacenamiento de sustancias químicas orgánicas, juntas de expansión.
348	(S34800)	Tubos soldados y sin costura para servicio a sistemas radioactivos.

Tabla 8. Aplicaciones de los aceros martensíticos, [1].

I.4 Aceros inoxidables dúplex

Los aceros inoxidables dúplex son los de más reciente desarrollo; son aleaciones cromo-níquel-molibdeno que forman una mezcla de cantidades aproximadamente iguales de austenita y ferrita.

Sus características son las siguientes:

- Son magnéticos.
- No pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Buena soldabilidad.
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

a) Metalurgia básica

Los aceros inoxidables dúplex presentan dos fases: dispersión de austenita fcc en una matriz de ferrita bcc. La cantidad exacta de cada fase está en función de la composición y el tratamiento térmico. Los principales elementos de aleación son cromo y níquel, sin embargo la cantidad de níquel es insuficiente para desarrollar completamente la estructura cristalina austenítica. El contenido de cromo varía del 18 al 26%, y el contenido de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos como nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno, permite controlar el balance en la configuración metalográfica, así como impartir ciertas características de resistencia a la corrosión. [1]

El acero dúplex 2205 representa a una nueva familia de aleaciones de acero inoxidable conocidas como dúplex y son resultado de la adición intencional de nitrógeno. El nitrógeno imparte resistencia a la corrosión, especialmente en zonas soldadas. En muchos ambientes, el 2205 tiene mayor resistencia a la corrosión que el 316 o 317 además de ofrecer un rendimiento de casi el doble en cuanto a resistencia mecánica.

El tipo 2205 puede ser formado en frío y también expandido; cuando se trate de áreas mayormente trabajadas deberá ser recocido después del formado.

Esta aleación es resistente a ácidos reductores diluidos y a moderadas concentraciones de ácidos oxidantes. El tipo 2205 tiene superior resistencia a la corrosión por picadura y por cloruros, comparado con los aceros 316 o 317.

El tipo 2205 (UNS S31 803) se usa en la construcción de tubos de intercambiadores de calor, en refinerías, industrias químicas e industrias de procesos que utilizan agua como refrigerante, [1].

I.5 Endurecimiento por envejecimiento

Este tipo de aceros inoxidable se desarrolló a escala industrial después de la Segunda Guerra Mundial, como una alternativa para elevar las características de resistencia mecánica mediante tratamientos térmicos de envejecimiento. Estos aceros se denominan “endurecibles por precipitación” o PH (precipitation hardening) y ofrecen una alternativa a los aceros inoxidable austeníticos cuando se desee asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad, [1].

a) Metalurgia básica

Los aceros inoxidable endurecibles por precipitación son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Estos grados se pueden clasificar en función de su estructura en estado de recocido y del comportamiento resultante tras el tratamiento de envejecimiento, como austeníticos, semi-austeníticos o martensíticos.

Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora.

Aleaciones endurecible por precipitación:

a) 17-4 PH, 15-5 PH

Estos son martensíticos en estado recocido y contienen niobio y cobre. Desarrollan su alta resistencia mecánica y dureza a través de tratamiento térmico que precipita el cobre, [1].

b) 17-7 PH, PH 15-7 MO

Son austeníticos en estado recocido, pero martensíticos en condición endurecida, [1].

La composición del 17-7 PH incluye cromo, níquel y aluminio; el 15-7 MO incluye, además, molibdeno, [1].

Debido a que el proyecto de investigación implica el proceso de embutido a continuación se describe, para su mayor comprensión.

II. ¿Qué es el embutido?

El término embutido no responde exactamente al fenómeno, o grupos de fenómenos, que experimentan los metales, cuando aprovechando su cualidad plástica se le somete a un proceso de deformación en el cual se parte de una superficie plana. El término embutido proviene del verbo embutir, por la lejana semejanza que existe entre este procedimiento de trabajo y la acción de rellenar con exceso un recipiente con una materia moldeable, adquiriendo ésta la forma de aquél.

En pocas palabras la operación de embutido consiste, por lo tanto, en transformar una lamina plana de metal laminado en un cuerpo hueco, procediendo gradualmente con una o más etapas de formado. En la operación de embutir no se debe modificar el espesor de la lámina, se deduce que la superficie de la pieza producida ha de ser, teóricamente, equivalente a la de la lámina plana empleada. En la práctica esto no se realiza con exactitud.

La deformación de la lámina se realiza por una compleja combinación de fuerzas de tracción y compresión que se traducen en un flujo de material. Las superficies elementales. figura 6 como la "abcd" se transforman en otras equivalentes (en el ejemplo, abcd); siendo constante el volumen, el espesor se mantiene igualmente constante.

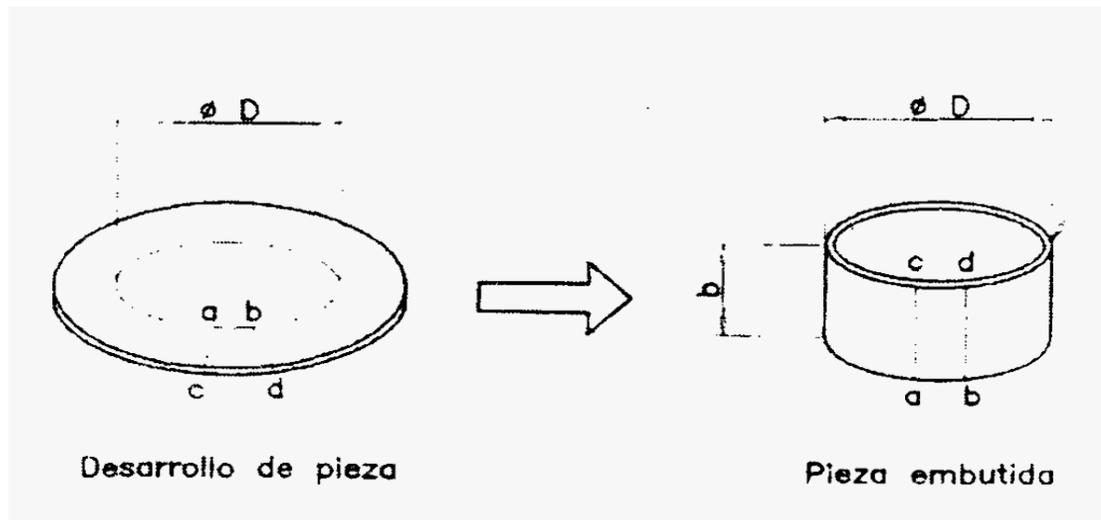


Figura 6. Área de embutición a,b,c,d, [2].

Por otro lado, se producen pliegues en la lámina por efecto de la compresión, tanto más intensos cuanto menor sea la distancia a los bordes exteriores. Esto se comprende fácilmente examinando la Figura 7; los sectores a, b, c,... representan material sobrante (que no tiene cabida). Por decirlo así, que es comprimido por las superficies adyacentes a, b, c,... al deformarse para formar un cilindro hueco.

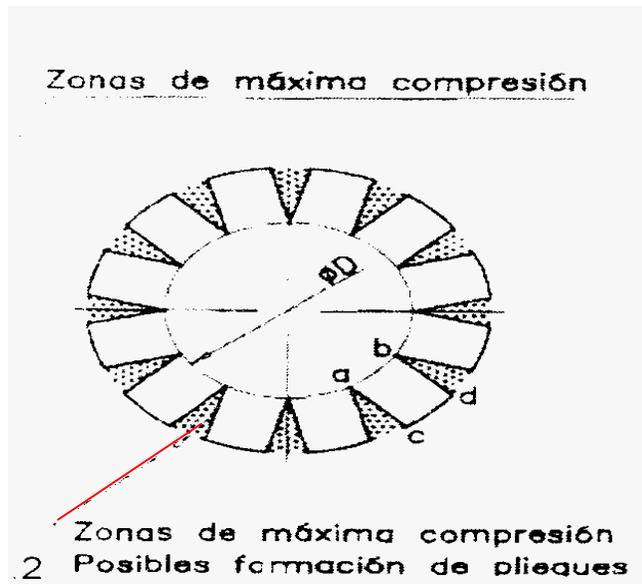


Figura 7. Zonas de pliegues, [2].

Para impedir la formación de arrugas se aplica una fuerza de compresión normal a la lámina por medio de un pisador o sujetador, sin que ésta sea excesiva, puesto que el material debe fluir sin impedimentos; de lo contrario se produciría un estiramiento del mismo.

La lámina se ve sometida a esfuerzos muy complejos de compresión, tangenciales y de tracción en sentido radial Figura 8. La máxima fuerza de compresión se sitúa cerca del borde. La máxima fuerza de tracción está localizada en una zona próxima a la curvatura del canto.

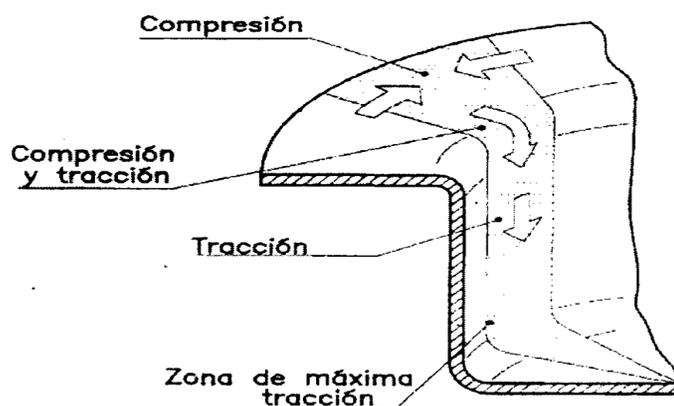


Figura 8. Fuerzas que interactúan en un embutido, [2].

Para que haya embutición sin desgarrar es preciso que el fondo resista la presión del punzón, por lo tanto, esta presión ha de ser inferior a la resistencia del fondo al arranque.

Tomando como base de cálculo la fuerza F necesaria para cortar el fondo, se puede admitir que la fuerza de embutición no debe sobrepasar la mitad del valor de esta fuerza F , para una embutición de doble efecto. La fuerza ejercida sobre el pisador, por su parte no debe ser superior a cuatro décimas partes de la fuerza F .

De ello se deduce que la fuerza de presión debe ser, por lo menos, igual a la suma de las fuerzas de embutición, de presión sobre el pisador y también de las fuerzas correspondientes al rozamiento entre la chapa, la matriz y el pisador.

a) Partes de un troquel de embutición

La herramienta que se utiliza para una embutición es un troquel de embutición en donde se coloca una pieza plana (disco) y al accionar este troquel hace la forma de la que queremos obtener, Figura 9.

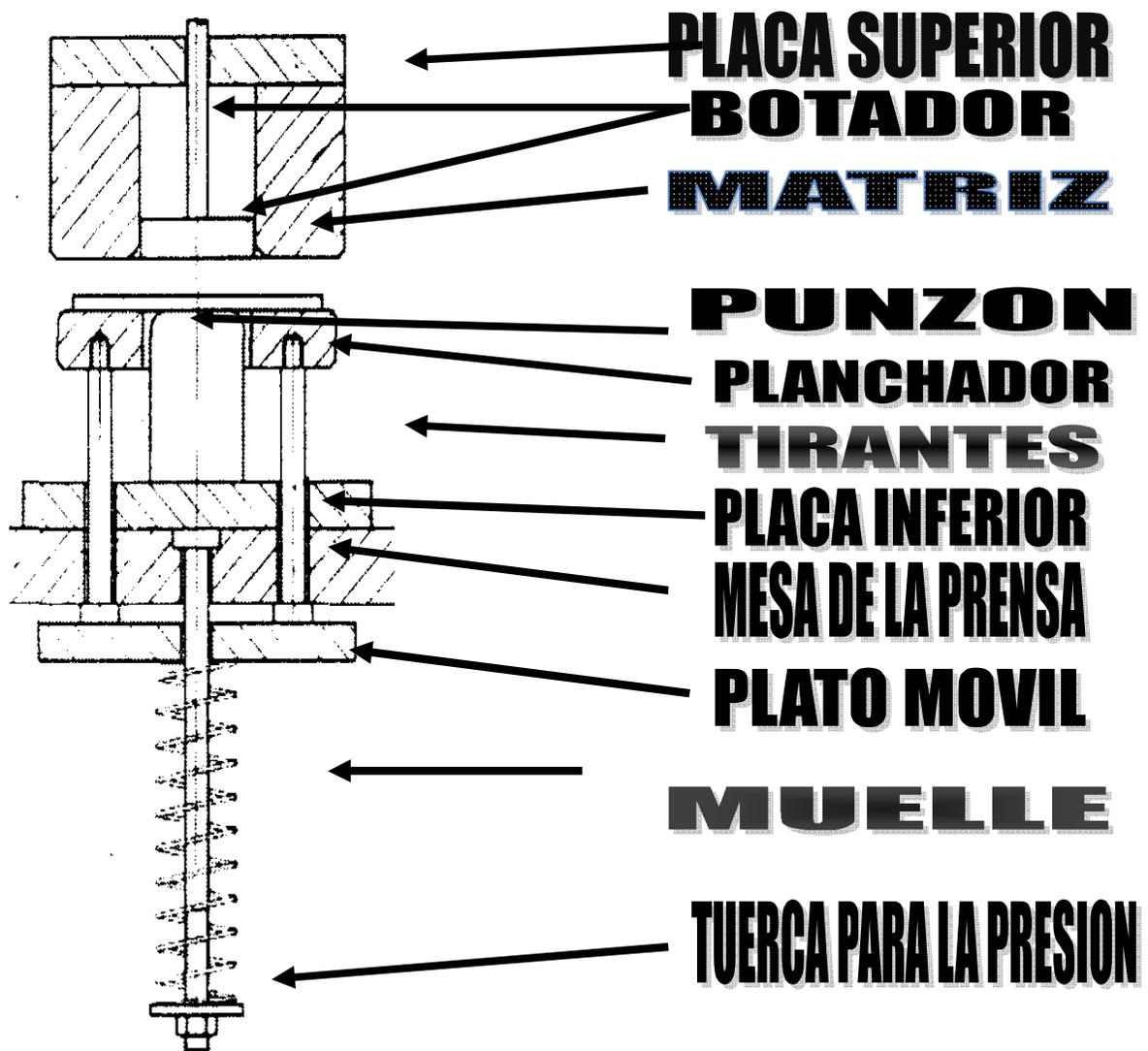


Figura 9. Partes de un troquel de embutición, [1].

Las partes de un troque y sus funciones son:

1. Placa superior.
También se le llama sufridera y su función es la de sujetar las demás piezas y la que absorbe la mayor fuerza por eso el nombre de sufridera.
2. Botador.
Esta parte recibe muchos nombres (knock out, extractor, etc.) y este nos sirve para sacar la pieza ya formada, que se encuentra atorada por la matriz o en el punzón, dependiendo del tipo de embutido.
3. Matriz.
Ésta es una pieza fundamental en el embutido, ya que al darle mayor o menor holgura con respecto al punzón nos puede arrugar o romper, para esto necesitamos de una fórmula que veremos más adelante.
4. Punzón.
Tiene mucha relación con la matriz por la misma razón ya que estas dos piezas son las más importantes y esta también lleva un radio en la punta, que es el mismo para la matriz; es por eso que tienen mucha relación para que se pueda realizar el proceso.
5. Planchador.
Es el que ayuda a que nuestra pieza salga sin arrugas ya que sostiene el material y no permite que se levante.
6. Tirantes.
Se utilizan para unir el plato móvil con el planchador estas barras se mueven por lo cual se deben deslizar dentro de unos bujes para evitar que estas se desgasten.
7. Placa inferior.
Cumple la misma función que la placa superior y sirve para sujetar el punzón, recibiendo toda la fuerza.
8. Mesa de la máquina.
En ella se coloca el troquel o molde y por lo regular es de fierro colado ya que recibe muchas vibraciones y este material las absorbe con mayor facilidad y es robusta.

9. Plato móvil.

Éste transmite el movimiento del resorte o muelle al planchador por medio de los tirantes ya que estos están conectados entre sí.

10. Muelle.

Comúnmente se le conoce como resorte y nos sirve para ejercer cierta presión para el planchador, en otras ocasiones se utiliza un cojín que es un pistón hidráulicos que hace la misma función.

11. Tuerca de presión.

La tuerca que va colocada en un espárrago al ser apretada obtenemos mayor presión sobre el resorte, esto también lo podemos realizar con el cojín al regular la presión con una válvula de estrangulamiento.

b) Máquinas para embutición

En el embutido se ocupan dos tipos de máquinas, las cuales son:

- 1) Troqueladoras
- 2) Prensas hidráulicas

En cualquiera de estas dos máquinas se puede colocar el molde para embutir, es solo que el troquelado tiene ciertas limitantes que veremos a continuación.

1) Troqueladora

Es una máquina mecánica la cual consta de un motor que hace que se mueva el volante que por lo regular es grande y pesado al tener este la inercia necesaria se trasmite al cigüeñal de manera mecánica (con una cuña) o de manera neumática con un Cluch, ésta hace que gire el cigüeñal y éste mueva el ariete de manera descendente para que de esta manera estampe.

Ventajas:

- Mayor rapidez en la producción.
- Puedes utilizar mayores tonelajes de presión

Desventajas:

- Solo sirve para embutidos pequeños

- No tiene una presión constante
- No tiene la velocidad constante

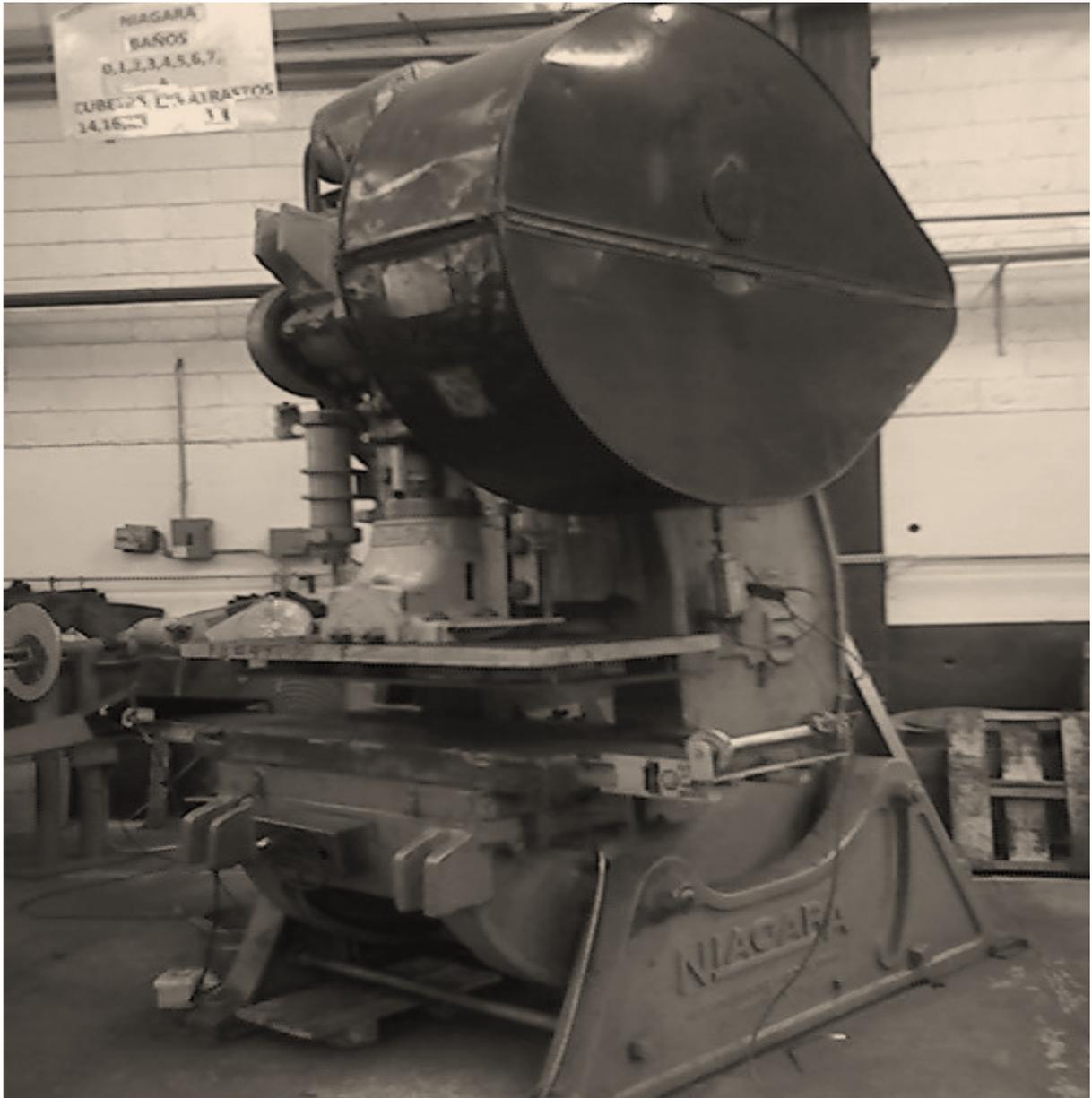


Figura 10. Troqueladora NIAGARA de 80 toneladas de presión, empresa LA IDEAL S.A. de C.V.

2) Prensa hidráulica

Esta máquina funciona con una bomba hidráulica que se encuentra conectada con diferentes aditamentos o componentes como son:

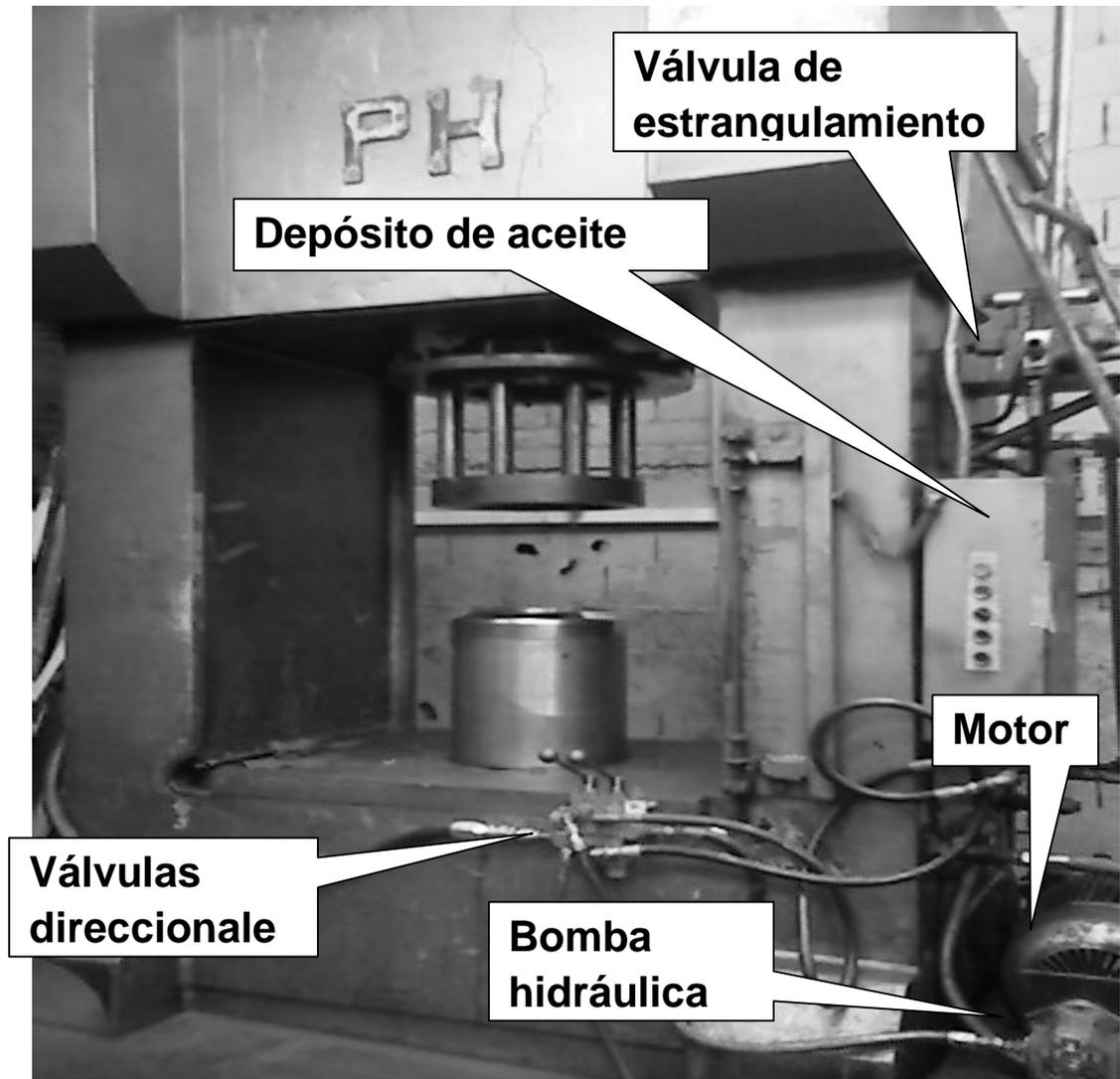


Figura 11. Prensa hidráulica PH de 40 toneladas de presión, empresa LA IDEAL S.A. de C.V.

El motor es eléctrico y dependiendo de la capacidad que de nuestra máquina es el tipo de motor para que esta funcione , ya que es la parte fundamental de la máquina y la que hace que funcione la bomba hidráulica dándole la presión y el empuje necesario para obtener el galonaje que se requiere, la presión es mandada a la válvula direccional, la cual se encarga como su mismo nombre lo indica de mandar la presión para donde queramos.

Ya sea por medio de palancas o en forma automática (electroválvulas), para accionar los pistones. Pero antes de pasar a mover a los pistones es conveniente poner un dispositivo llamado válvula de estrangulación, que nos sirve para regular la presión en el pistón, es muy útil, ya que tenemos el control de la velocidad y presión que necesitemos. Cuando regresa el pistón a su posición normal el aceite que se ocupo para impulsar al pistón regresa al depósito de aceite.

III.- Tipos de embutido

Existe una infinidad de procesos de embutido que se adecuan a las necesidades de la pieza que se desee fabricar, las más comunes son:

- ❖ Embutido manual (rechazado)
- ❖ Embutido simple
- ❖ Embutido telescópico
- ❖ Embutido de doble acción
- ❖ Embutido inverso
- ❖ Embutido progresivo

Entre muchos más que puede ir modificando dependiendo de cuan complicado sea la pieza a fabricar.

III.1 Rechazado manual

El torno, preparado convenientemente, puede ser empleado para embutir chapa. El principio mecánico de esta operación consiste en hacer girar un sólido de revolución (estampa de madera o de fundición) fijado en el cabezal del torno y mediante la presión ejercida con una herramienta especial doblando poco a poco la chapa que ha sido previamente centrada. Este proceso es muy sencillo, poco costoso y solo requiere del empleo de fuerza en la palanca. Al fraccionarse la palanca con el material produce un cierto calentamiento en el material que nos ayuda a que sea más maleable.

Con este proceso, y lo mismo con todos los del proceso de embutido, no se trata de doblar simplemente la chapa, sino de deformar prácticamente el material y hacerlo "fluir" bajo la acción de una presión estática, manteniendo, en la mayoría de los casos, inalterable el espesor de la chapa.

El embutido al torno ha encontrado un gran campo de aplicaciones en la fabricación de recipientes de aluminio debido a que este metal tiene la propiedad de ser dúctil. Aunque la ductilidad en ciertas aleaciones no es demasiado buena, se puede mejorar mediante un recocido previo. Al final de la operación se podrá dar a la pieza un tratamiento térmico con el fin de proporcionar al material las características necesarias

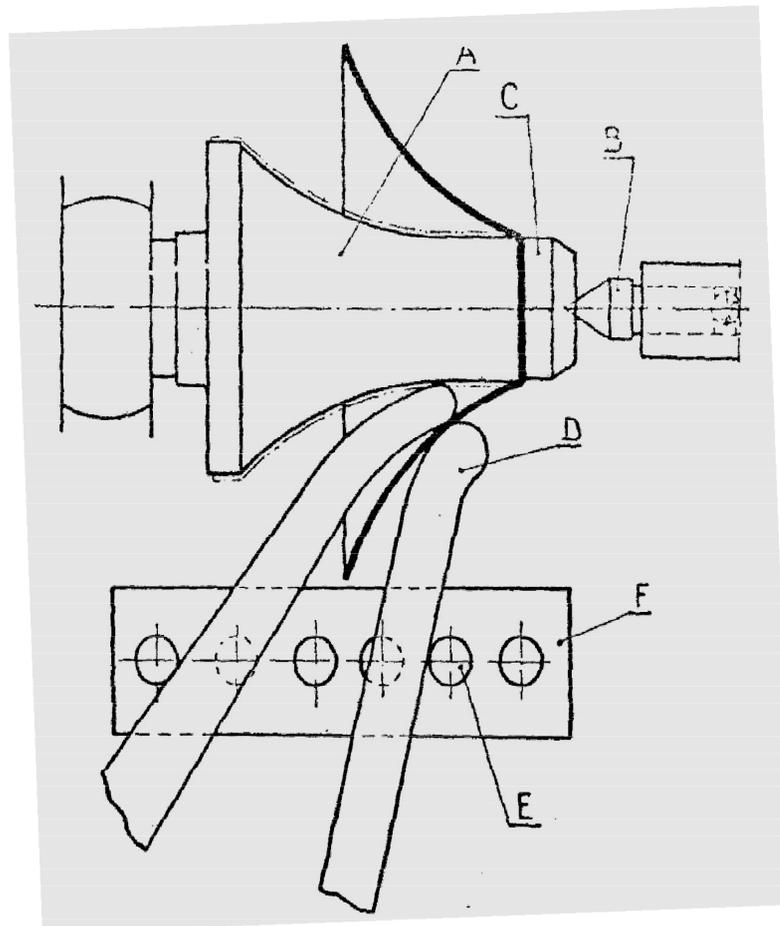


Figura 12. Embutido realizado en el torno para transformar una chapa, [3].

El procedimiento de embutido al torno se desarrolla según las indicaciones de la figura 12. El disco de metal, cuyo diámetro ha sido calculado previamente, es colocado y centrado en el molde A, se le coloca un contrapunto B y una tapa C para no permitir que el disco se mueva. Al tenerlo fijo se procede a prender el torno y con la palanca D se procede a aventar el material apoyándose en un banco F que tiene diferentes cajas donde se coloca una barra E que nos sirve para hacer palanca y con forme se recorre el material esta también hasta obtener el recipiente.

Muchas veces, debido a las dimensiones de la pieza y por lo complicado de su forma, no se puede realizar esta operación con una sola estampa y en una pasada, sino que hacen falta varias estampas y varias pasadas.

La figura 13 muestra el procedimiento para hacer una sopera a de aluminio. Como puede verse, en este caso se elabora la pieza en dos fases porque el borde exterior se dobla hacia atrás, o sea por la parte opuesta a la de la corona exterior de la estampa de la izquierda. En la primera fase, la chapa de aluminio queda aprisionada entre la estampa giratoria A y la punta B mediante un plato intermedio C; a continuación se procede con la herramienta D, como ya se ha explicado antes, a presionar la chapa contra la superficie de la estampa para que se adhiera a ella. El

borde exterior del recipiente se deberá ejecutar con otra estampa de construcción más sencilla en la cual solo se tiene una cavidad A donde se coloca la pieza y una tapa C que sujeta a la pieza y poder hacer el rechazado.

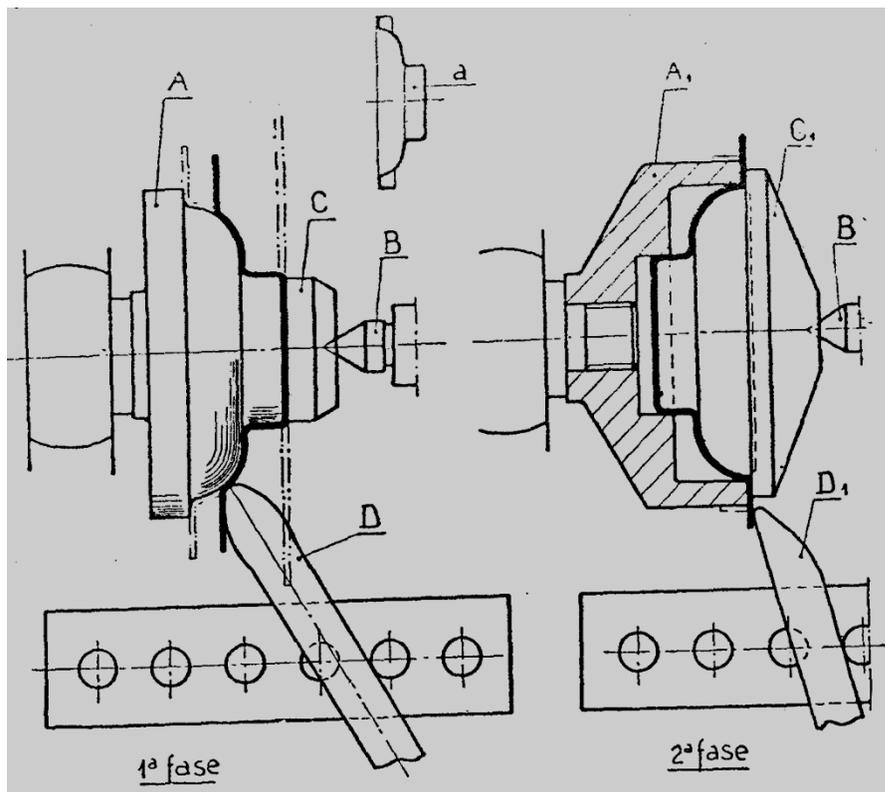


Figura 13. Embutido realizado en el torno, de una chapa, [3].

Para poder realizar las diferentes formas es necesario contar con una infinidad de herramientas que nos permita moldear el material en la forma que nosotros deseemos. Estas herramientas pueden ser de diferentes materiales como son: de lato, bronce, acero templado, madera, entre otros.

Las formas son las siguientes:

1) Esta palanca sirve para rechazar cosas más simples su función es recorrer el material, es por eso que tiene esta forma redonda en la punta se podría decir que es una de las primeras herramientas para poder realizar el trabajo al igual que la herramienta 2 y 3 solo que estas herramientas tienen más radio ya que se utilizan para materiales con mayor calibre y que se necesita mayor fuerza para desplazar el material.

4) Esta herramienta tiene una parte plana o cara que es utilizada para después de recorrer el material ya que su función es la de planchar el material al molde y obtenga la forma que deseamos y con las medidas que se requiere, en pocas palabras se dice que sirve para planchar el material al igual que la herramienta 5 y 6,

solo que una es para piezas más grandes en el caso de la 5 es por eso que se utiliza una forma como de palo de golf para tener mayor área de contacto a la hora de planchar el material; el palo o herramienta 6 se utiliza para acabados o en esquinas, por eso la forma de cuña para poder llegar a las esquinas.

7) la herramienta que se ve se utiliza para cortar (es un especie de buril) y se coloca en la parte del sobrante de material y como si fuera un buril se desbasta el material hasta la medida requerida para la pieza.

Así como estas herramientas existen una infinidad de herramientas y estas se van adquiriendo con el paso del tiempo y con la habilidad del rechazador por encontrar formas más fáciles de realizar las labores de rechazado. figura 14

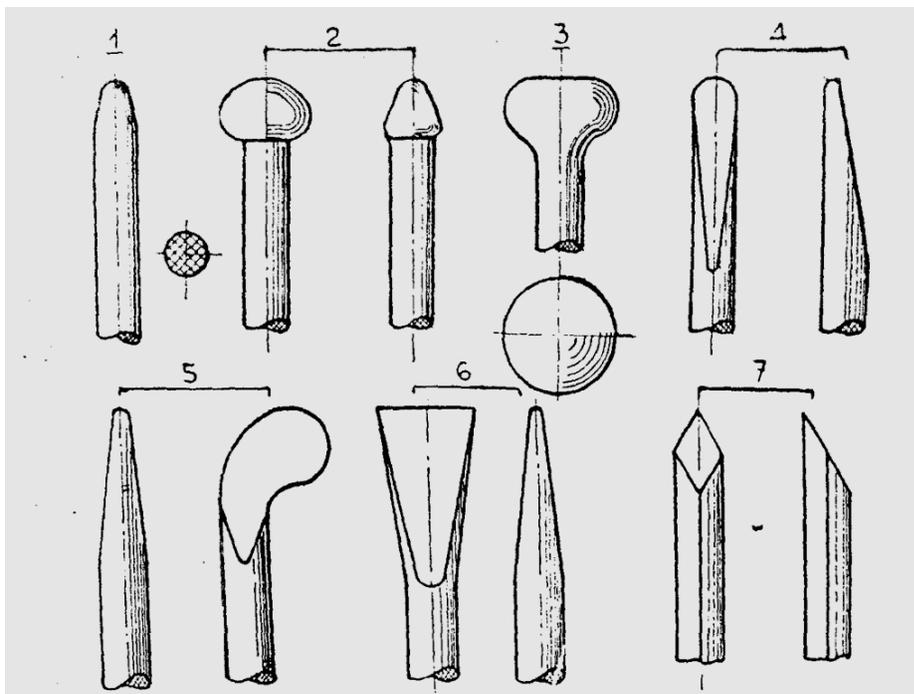


Figura 14. Tipos de herramientas para rechazado, [3].

III.2 Embutido simple

Este tipo de embutido se realiza en una prensa o troqueladora, ó sea que ya no es manual y consta de varias partes como son:

- a) Molde o corazón
- b) Platina o hembra
- c) Planchadores
- d) botador

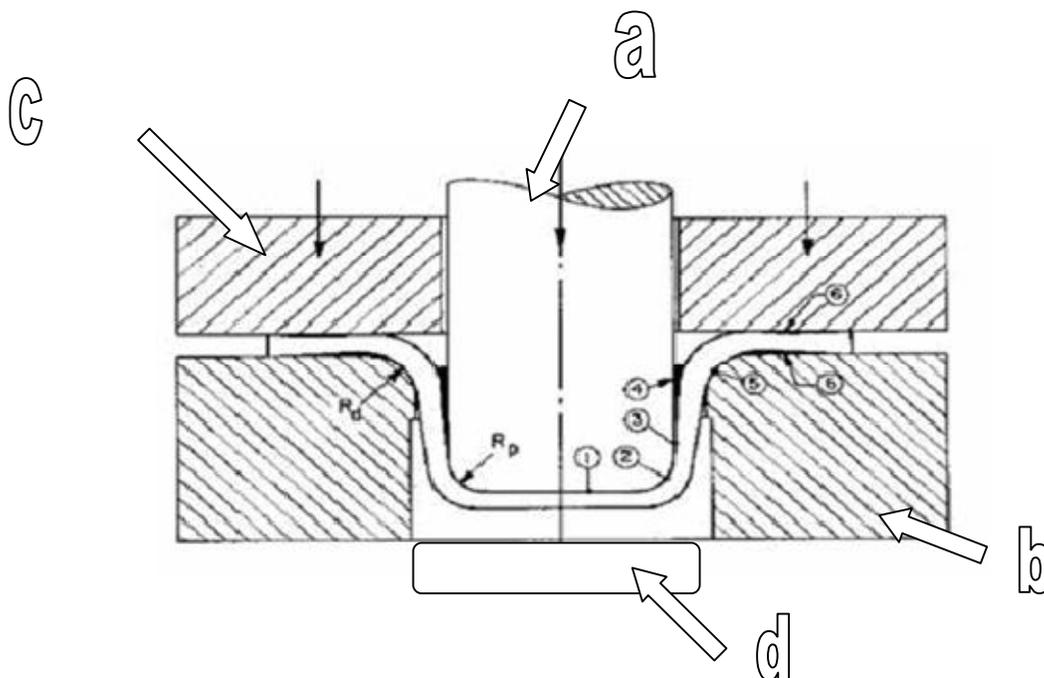


Figura 15. Piezas principales para un molde de embutido,[10].

El embutido simple es una forma excelente de fabricar piezas huecas a una velocidad diez veces más rápida que el rechazado, de hecho llegó para remplazar al rechazado.

También es llamada así, ya que éste realiza un solo proceso y es la forma final en la que queda la pieza que se realizó. Enseguida en la figura 3.5, se muestran ilustrados los pasos del proceso los cuales son:

- 1) El disco es colocado de forma concéntrica en el planchador inferior se acciona la máquina y esta por la presión de los pistones comienza a bajar de forma constante (la presión y la velocidad).

- 2) Al llegar los dos planchadores y sostener la chapa como si fuera un sándwich esto con el fin de evitar arrugas.

Como la presión del planchador superior es mayor que la de inferior, este comienza a ceder deslizando el material por la matriz la cual tiene un radio que permite que el material fluya libremente este radio se puede calcular (lo veremos en el siguiente capítulo), al estar fluyendo se forma la cavidad o pieza a la altura que nosotros queramos o la que el material permita

Una vez obtenida la altura deseada, la matriz y el planchado regresan a su posición normal, al mismo tiempo que esto pasa la pieza sale de la cavidad (matriz) por medio de un botador o nock out, quitando la pieza y empezando un nuevo ciclo, figura 16.

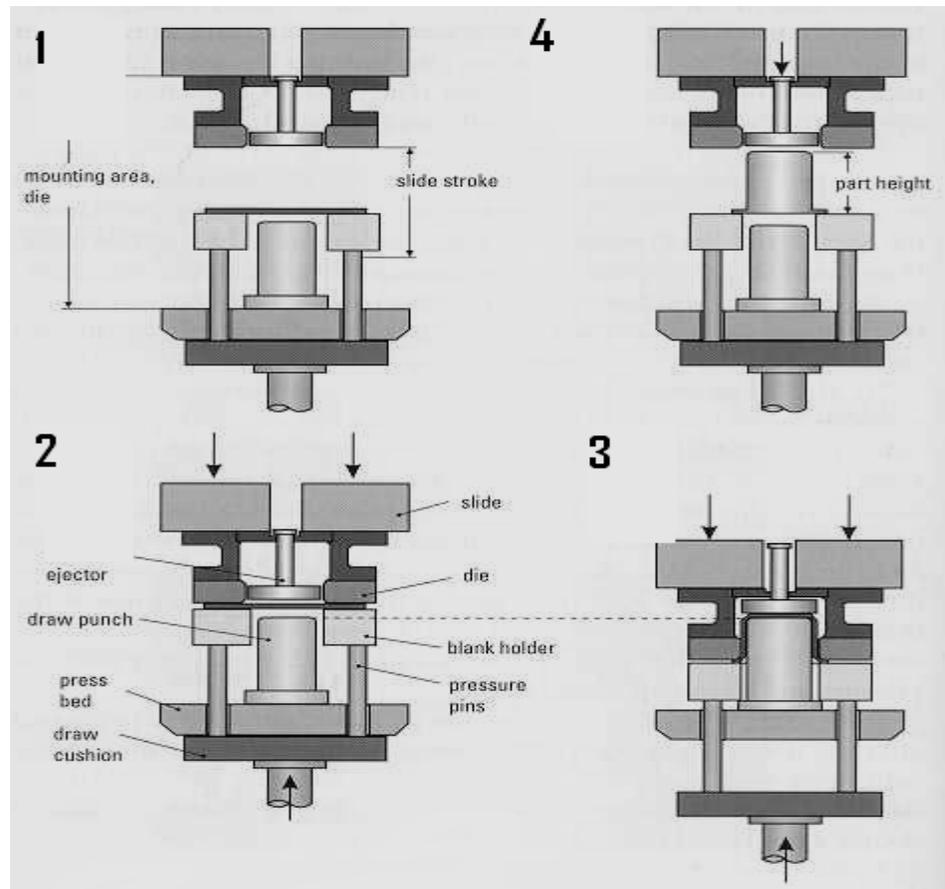


Figura 16. Pasos para un embutido simple, [14].

En este proceso se pueden hacer piezas de cualquier forma o tamaño siempre y cuando el límite de embutido lo permita, que ese sería el único limitante, ya que así como queda la pieza, así se queda, ya que no hay un paso posterior y no se puede modificar a menos que se realice un proceso de estiramiento que es parecido al embutido, solo que en este proceso se adelgazan las paredes, ya que el claro entre punzón y matriz es menor al de un claro en el embutido esto se puede calcular.

Este proceso se realiza por lo regular para piezas de diámetro grande y de poca altura, como por ejemplo para un sartén, una charola una tarja, etc.

III.3 Telescópico (segundo paso)

En el embutido telescópico las piezas de la herramienta son las mismas que la del embutido simple, consta de punzón, matriz, planchador, botador etc.

Se le llama de segundo paso también, debido a que ya hay una pieza en la cual se acopla al planchador y tiene un cierto ángulo que varía dependiendo del tipo de material y el tamaño de la pieza.

La pieza se coloca en el molde quedando el planchador y el punzón dentro de la misma como se ve en la figura 17, al ir bajando el punzón y el planchador hasta llegar con la matriz que tiene el mismo ángulo que el planchador y al terminar el planchador se tiene el mismo diámetro que el punzón.

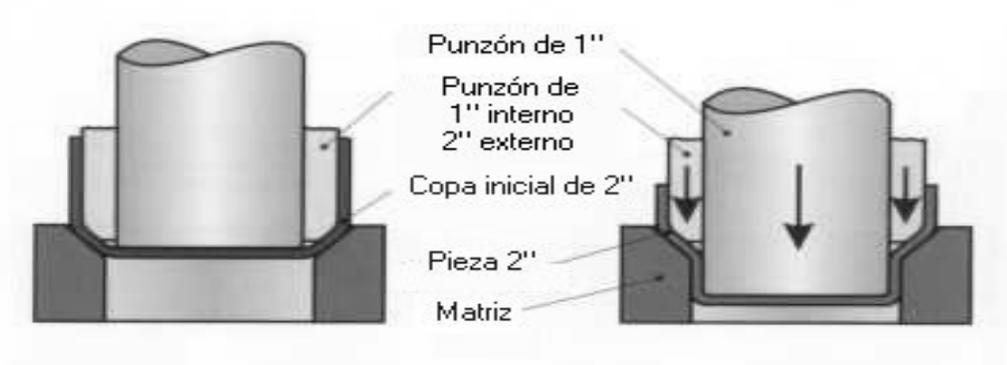


Figura 17. Embutido telescópico, [14].

El planchador como se puede apreciar en la Figura 18 se coloca de forma flotante, sostenido por velas o barras de acero que a su vez están sostenidas por un pistón que realiza la función de sostener el planchado e ir bajando poco a poco para tomar la forma del macho (punzón).

A esta pieza también se le llama platina y esta fabricada de acero templado y terminado a espejo dependiendo del material, como por ejemplo para un aluminio solo se rectifica y se le da una pequeña pulida; para el acero inoxidable se pule a espejo o muchas veces se manda a cromar la pieza, en algunos casos el acero que se utiliza para embutir es más duro, para esos casos se utiliza una platina de cobre ya que el cromado lo votaría y se raya con facilidad.



Figura 18. Planchador de un molde telescópico, empresa LA IDEAL S.A. de C.V.

En el caso de la matriz, esta debe de acoplar con el ángulo de la platina, para que sea un planchado uniforme y con radios interiores en la matriz y exteriores en el planchador, con el fin de que fluya el materia a la hora de embutir.

Al terminar con el radio se le hace un ángulo de desahogo para que pase libremente el material ya que el único que trabaja es el radio, esta matriz esta sostenida por una campana, que no es mas que un tubo de acero que a su ves esta sostenido en una placa donde el pistón produce la acción de movimiento.

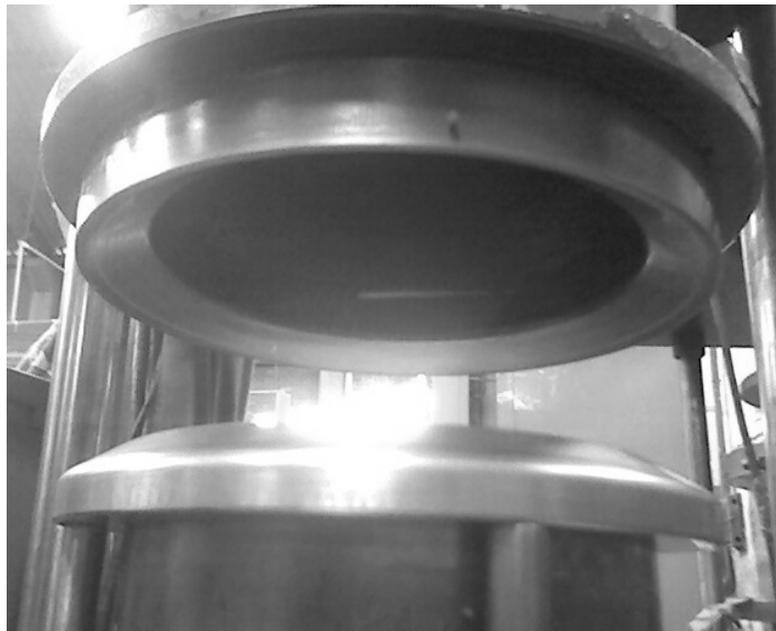


Figura 19. Matriz de un molde telescópica empresa LA IDEAL S.A. de C.V.

El embutido telescópico es realmente un segundo paso para formar una pieza de mayor altura y menor diámetro, ya que hay piezas en las que es necesario tener un segundo o hasta un tercer paso para obtener la altura y el diámetro de la pieza que se requiera.

La parte importante y con la que se debe tener mucho cuidado para el diseño de este molde, es el claro entre punzón y matriz ya que si es muy grande el claro la pieza se arruga y si por el contrario el claro es mas pequeño laminaria y rompería la pieza a fabricar o en muchas ocasiones y más con el acero puede romperse hasta la matriz, figura 19.

III.4 Doble acción

El embutido de doble acción no es más que la fusión de las dos tipos de embutidos pasados (embutido simple y embutido telescópico) y se utilizan a los dos al mismo tiempo ósea en una misma máquina ya que este molde consta de dos platinas, dos planchadores y dos punzones como se muestran en la figura 20, éstos se encuentran de forma lineal y todos de forma concéntrica, ya que solo así funcionaria este proceso.



Figura 20. Punzones y matrices de un embutido de doble acción

La forma en que funciona es la siguiente:

- 1) Baja el juego de matrices hasta llegar al planchador, sostiene el material y comienza a embutir como un embutido simple hasta llegar a un tope mecánico el cual regula la altura del embutido y sirve para que siga teniendo presión el segundo planchador.
- 2) Ya que se obtiene el primer embutido y que el segundo planchador y la segunda matriz están en contacto y sosteniendo el material, el segundo punzón que se encuentra dentro del primero comienza a subir y a embutir la pieza como un embutido telescópico, este llega igual a un tope que regula la altura.

- 3) Al llegar a esa altura se libera la pieza con la abertura de la máquina, esto se puede realizar de forma automática con electroválvulas o de forma manual con válvulas de palanca. Al llegar a la apertura sale la pieza ya sea por gravedad o por un botador que se encuentra en la parte superior de la pieza.

El propósito principal de este proceso es hacer el proceso ahorrando tiempo y espacio ya que para realizar la misma pieza que se realiza en esta máquina, se debería realizar en dos, lo cual necesitaríamos de dos operadores y sería mucho más tardado y se englobaría todo en el costo que por supuesto es mejor el de una máquina de doble acción.

Para el diseño de esta herramienta se debe de tomar en cuenta muchos aspectos como son:

- 1) Los diámetros de primer y segundo pasos.
- 2) Las alturas de los dos pasos.
- 3) Las presiones que se requieren para realizar los pasos.
- 4) La alineación entre las matrices y los punzones.

III.5 Inverso

Este proceso se utiliza para un segundo paso al igual que el telescópico, en la cual se coloca una pieza ya fabricada y se vuelve a conformar, para reducir el diámetro de la pieza y aumentar su altura, solo con la única diferencia de que la herramienta para embutir es opuesta a la telescópica.

La ventaja de este proceso es que puedes realizar embutidos muy profundos y con mayor facilidad que en los demás procesos y logras estirar un poco más el material, que eso para muchos es una ventaja o una desventaja, dependiendo del uso que se le de a la pieza.

La desventaja es que se debe realizar con materiales que sean para embutido profundo como en el caso del acero inoxidable 403 de la serie austenítica es el idóneo para este tipo de embutidos.

Las piezas que lo conforman son:

1. Matriz externa
2. Matriz interna o de embutido inverso
3. Planchador de primer paso
4. Planchador de de embutido inverso
5. Punzón de primer paso
6. Punzón de embutido inverso

- ❖ Nota: cabe hacer referencia de que tanto el punzón del primer paso como la matriz del embutido inverso se encuentran en una sola pieza como se ve en la figura 21.

El embutido inverso es igual que el embutido de doble acción ya que contiene las mismas piezas y realiza dos pasos en una sola maquina, la única diferencia es que el segundo punzón no sale del primero, si no de la parte de afuera como se ve en la figura 21. entonces hay una matriz exterior para un primer paso y una matriz interior para un segundo paso, por esa razón cuando entra el segundo paso en el que el punzón está afuera y la matriz adentro de la pieza, al embutir se voltea por completo la forma de la pieza.

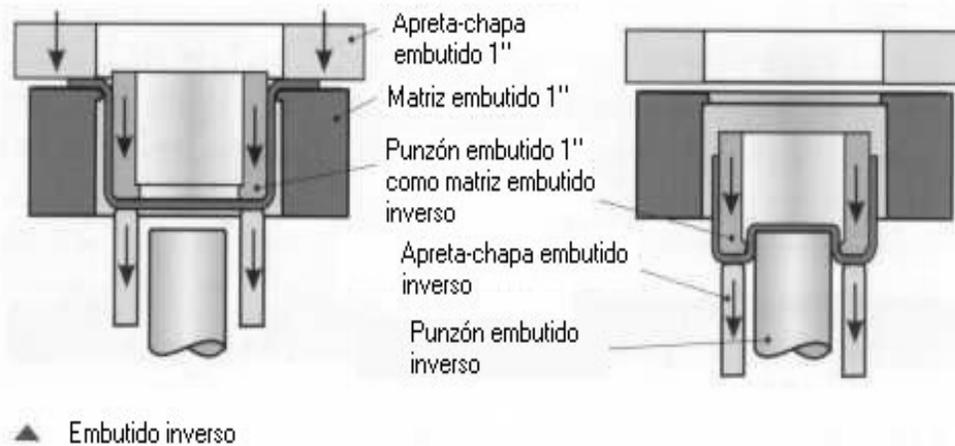


Figura 21. Molde de embutido inverso, [14].

Para este proceso se requiere de un material sumamente maleable como lo es el Aluminio, Piuter, Cobre, entre otros. Ya que en este proceso el material se endurece demasiado. Este tipo de procesos se utiliza para piezas con mucha profundidad como los indicados en la figura 22.



Figura 22. Tubos de puro, floreros, [15].

IV. Procedimiento para el cálculo de un embutido

En este capítulo conoceremos las ecuaciones, para poder desarrollar una pieza embutida, desde la cantidad de material que se utilizara para la pieza, hasta el cálculo de la herramienta.

IV.1 Material del Blank

Las fórmulas que veremos a continuación son para poder obtener el material que se ocupará, la presión que necesitamos para la máquina, así como el número de pasos que se requieren para llegar a la pieza que queremos obtener

Unos de los problemas más importantes que se presentan en el embutido de cuerpos cilíndricos, es la determinación de las dimensiones de la chapa de la que ha de salir el objeto embutido.

La determinación de las dimensiones del desarrollo se basa en la igualdad de los volúmenes del material principal y el de la pieza embutida. La importancia de la determinación del desarrollo se basa en tres necesidades.

- 1) Economía del material
- 2) Facilidad de embutición
- 3) Reducción del número de útiles

Con este fin se han probado ciertos métodos que a través de ensayos han conducido a una determinación basada en el cálculo que se vera en este capítulo. Estas formulas son aplicables para cualquier tipos de cuerpos huecos que tengan forma geométrica regular.

El blank es el disco que se ocupa para embutir una pieza y es muy importante saber calcularlo con base a la forma de la pieza o como ocurre en otras ocasiones donde se tiene el disco y se desea saber la pieza que queremos obtener de qué tamaño quedaría.

A continuación se muestran las ecuaciones para diferentes piezas a embutir de forma cilíndrica, tabla 8 y tabla 9.

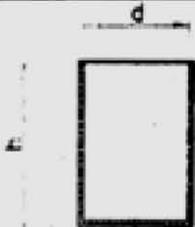
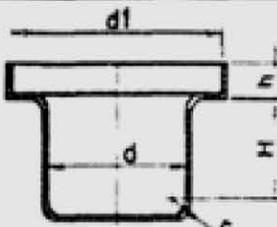
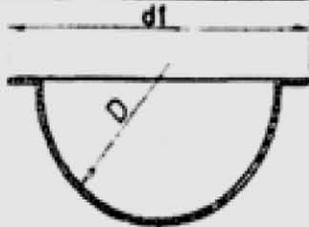
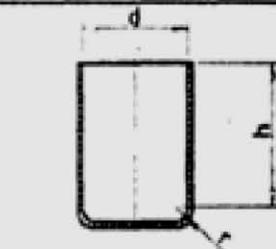
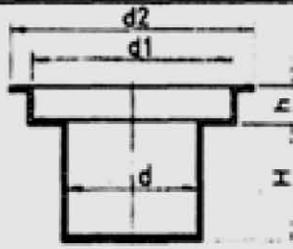
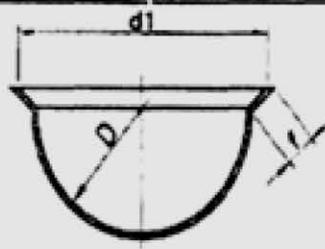
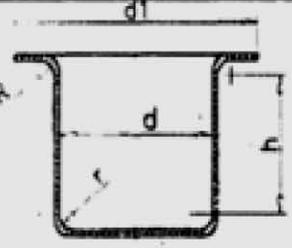
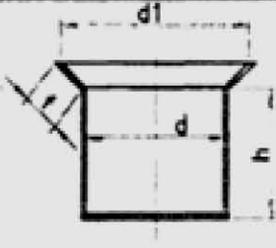
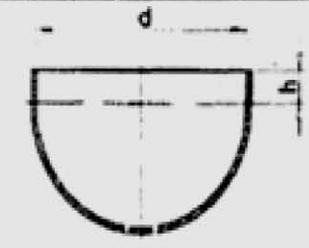
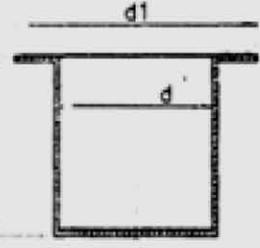
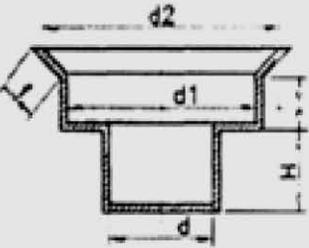
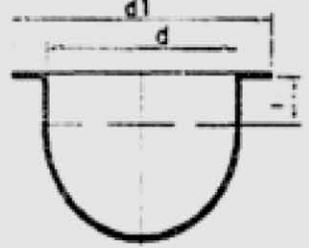
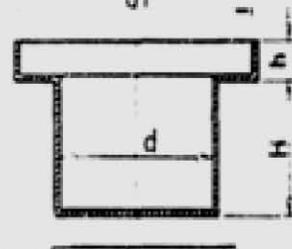
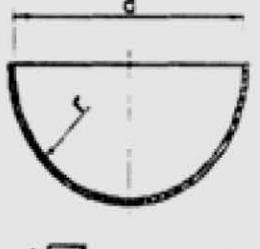
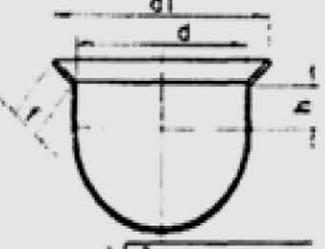
 $D = \sqrt{d^2 + 4dh}$	 $D = \sqrt{d_1^2 + 4d(H + 0,57r) + 4d, h}$	 $D = \sqrt{d_1^2 + d_1^2}$
 $D = \sqrt{d^2 + 4d(h + 0,57r)}$	 $D = \sqrt{d_2^2 + 4(dH + d, h)}$	 $D = 1,414\sqrt{d^2 + f(d + d_1)}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4d(h + 0,57(R + r))}$	 $D = \sqrt{d^2 + 4dh + 2f(d + d_1)}$	 $D = 1,414\sqrt{d^2 + 2dh}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4dh}$	 $D = \sqrt{d_2^2 + 4(dH + d, h)2f(d_1 + d_2)}$	 $D = \sqrt{d^2 + d_1^2 + 4dh}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4(dH + d, h)}$	 $D = \sqrt{8r^2} = 2,828r = 1,414d$	 $D = 1,414\sqrt{d^2 + 2dh + f(d + d_1)}$

Tabla 8. Fórmulas para el diámetro de la silueta (Continua), [1]

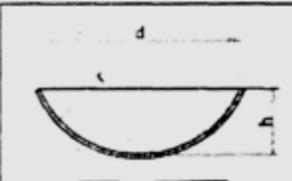
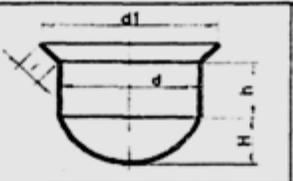
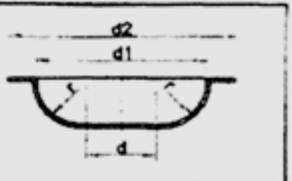
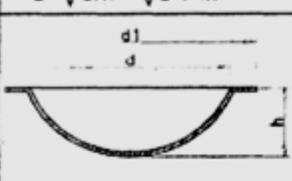
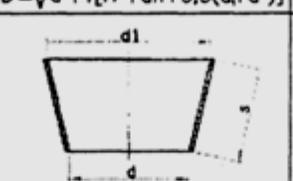
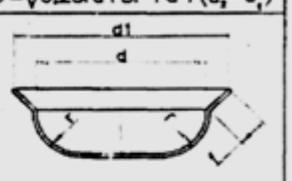
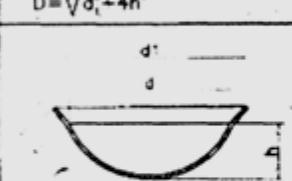
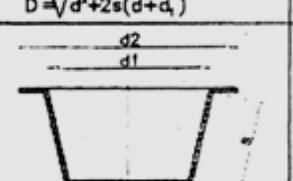
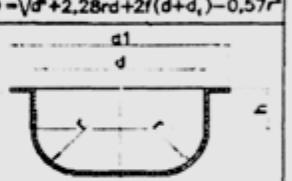
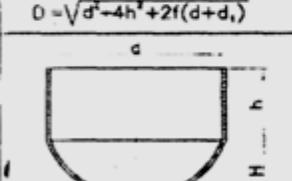
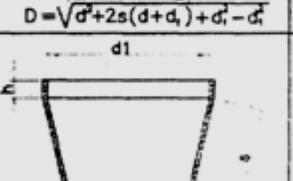
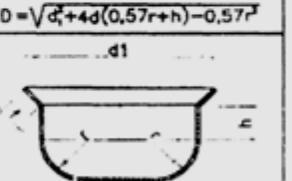
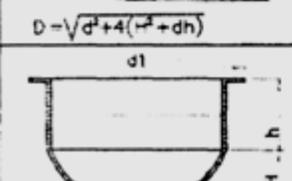
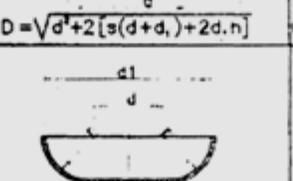
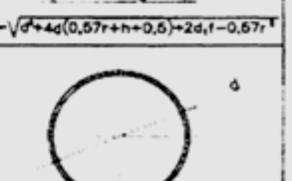
 $D = \sqrt{8rh} = \sqrt{d^2 + 4h^2}$	 $D = \sqrt{d^2 + 4[H^2 + dh + 0.5(d_1 + d)]}$	 $D = \sqrt{6.28rd + 8r^2 + d^2 + (d_2^2 - d_1^2)}$
 $D = \sqrt{d_1^2 - 4h^2}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2s(d + d_1)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2.28rd + 2r(d + d_1) - 0.57r^2}$
 $D = \sqrt{d^2 - 4h^2 + 2r(d + d_1)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2s(d + d_1) + d_1^2 - d_2^2}$	 $D = \sqrt{d_1^2 + 4d(0.57r + h) - 0.57r^2}$
 $D = \sqrt{d^2 + 4(r^2 + dh)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 2[s(d + d_1) + 2d.n]}$	 $D = \sqrt{d^2 + 4d(0.57r + h + 0.6) - 2d.r - 0.57r^2}$
 $D = \sqrt{d_1^2 + 4(H^2 + dh)}$	 $D = \sqrt{d^2 + 6.28rd + 8r^2}$	 Estero

Tabla 9. Fórmula para el diámetro de la silueta, [1].

Por ejemplo: si deseo obtener tres tipos de vasos diferentes alturas y diferentes diámetros; una de 50mm, 100mm, 150 pero con un mismo disco que en este caso seria de 300mm de diámetro. ¿De qué altura serian estas piezas?

Obteniendo la ecuación de la tabla 8, y según la figura, la ecuación es:

$$D = \frac{\dots}{\dots} \dots (1)$$

Dónde:

D = diámetro del disco a embutir
h = altura de la pieza a realizar
d = diámetro de la pieza a realizar

Encontrando los datos del problema obtenemos los siguientes datos:

$D=300\text{mm}$, $d=50\text{mm}$, 100mm , 150mm , $h=?$

Como ya sabemos el diámetro del blank y los diámetros de los vasos solo despejamos la h (altura) y quedaría, la ecuación 2.

$$h = \frac{D^2 - d^2}{4d} \quad \dots (2)$$

Sustituyendo los diámetros quedarían:

$$h_1 = \frac{300^2 - 50^2}{4(50)} \quad , \quad h_2 = \frac{300^2 - 100^2}{4(100)} \quad , \quad h_3 = \frac{300^2 - 150^2}{4(150)}$$

$h_1 = 437.5\text{mm}$,

$h_2 = 200\text{mm}$,

$h_3 = 112.5\text{m}$

Pero cuando quieres una pieza en específico y quieres saber que disco utilizar, como por ejemplo: Se requiere obtener la siguiente figura, ¿Qué diámetro se necesita del blank para poderla realizar?

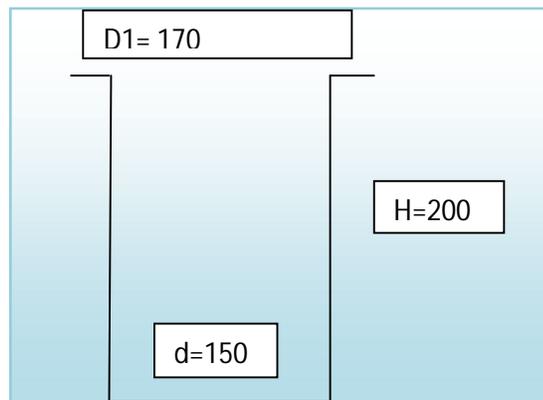


Figura 23. Medidas de una pieza a embutir

Así localiza la figura que se asimila a la de la tabla, se obtiene la fórmula y se sustituye la información y se encuentra el disco, ecuación (3)

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} \quad \dots (3)$$

Donde:

$d_1 = 170$

$d = 150$

$h = 200$

Sustituyendo:

D= _____

D= 1220.24mm

a) Áreas parciales para el cálculo del diámetro del elemento a embutir

En el troquelado este método utiliza la separación parcial de un embutido en todas las secciones que se parezcan a las representadas y la suma de todas las áreas nos dará el área de la silueta requerida para el embutido.

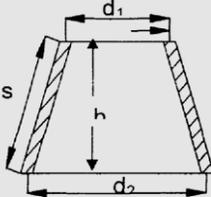
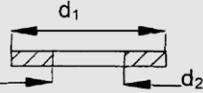
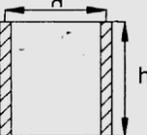
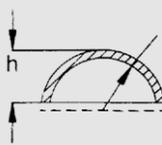
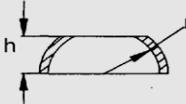
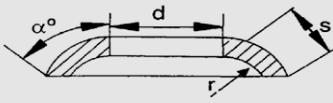
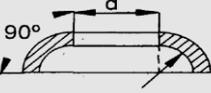
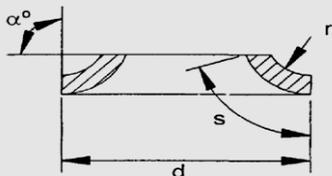
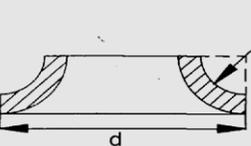
 $A = \frac{\pi d^2}{4}$	 $A = \pi s \frac{(d_1 + d_2)}{2}$ $S = \sqrt{h^2 + e^2}$
 $A = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4}$	 $A = 2\pi r^2$
 $A = \pi d h$	 $A = 2\pi r h$
 $A = 2\pi r h$	 $A = \pi(dS + 2rh)$ $s = \frac{\pi r \alpha^\circ}{180^\circ}$
 $A = \frac{\pi^2 r d}{2} + 2\pi r^2$	 $s = \frac{\pi r \alpha^\circ}{180^\circ}$
 $A = \frac{\pi^2 r d}{2} - 2\pi r^2$	$s = \frac{\pi r \alpha^\circ}{180^\circ}$ $A = \pi(ds - 2rh)$

Tabla 10. Fórmulas para áreas parciales, [1].

IV.2. Etapas de embutido

Ya que se tiene el tamaño del disco para la pieza que se quiere, lo siguiente es calcular en cuantos pasos se puede realizar, ya que para llegar a ciertas formas es necesario usar una, dos, tres, o infinidad de pasos.

Para poder saber que pasos o cuantos se deben realizar, se requieren de dos datos el espesor de nuestro material y el diámetro del blank, con esto y una tabla de valores de x, tabla 11, esta x nos sirve para sustituirla en una fórmula que nos dará el límite máximo de embutición del primer paso, ecuación (4)

$$d_1 = \frac{X_1 D_B}{100 - 0.0250 D_B} \quad \dots(4)$$

Dónde:

d_1 = diámetro máximo de embutición

D_B = diámetro del disco o blank

X = constante y se encuentra en la tabla 11 con respecto al espesor

Valores de X				
Acero, Cobre o Latón		Acero inoxidable o aluminio		
			Serie 400	Serie 300
Espesor t	Valor de x_1	Espesor t	Valor de x_2	Valor de x_2
0.2	62	0.2	62	70
0.3	59	0.3	59	69
→ 0.4	58	0.4	57	68
0.5	57	0.5	56	66
0.6	56	0.6	55	63
→ 0.7	55	0.7	54	60
→ 0.8	53	0.8	50	56
0.9	52	0.9	49	55
1.0	51	1.0	48	54
1.5	50	1.5	47	53
3.0	51	3.0	51	51

Tabla 11. Valor de x, [1].

Después del espesor de 3mm se toma el mismo valor y para el acero inoxidable se toma el valor de la serie 400.

Si el diámetro y la altura no son las que necesitamos debemos recurrir a un segundo paso, para ello se utiliza una ecuación similar solo que varían ciertos valores estos valores son para las demás etapas o pasos.

Esta es la ecuación del segundo paso, ecuación 5

$$d_2 = \frac{X_{22}d_1}{100 - 0.0246d_1} \quad \dots(5)$$

Donde:

d_2 = diámetro máximo de segundo paso

d_1 = diámetro máximo del primer paso

X_{22} =se toman de la siguiente tabla 12 y se utiliza los mismos datos para los siguientes embutidos y la misma fórmula.

Acero, Cobre o Latón		Acero inoxidable o aluminio		
Espesor t	Valor de x_{21}	Espesor t	Serie 400	Serie 300
			Valor de x_{22}	Valor de x_{22}
0.2	79	0.2	83	79
0.3	78	0.3	82	78
0.4	77	0.4	81	77
0.5	75.5	0.5	80	76
0.6	76	0.6	80	75
0.7	75	0.7	79	74
0.8	74	0.8	77	74
0.9	73.5	0.9	77	73.5
1.0	73	1.0	76	73.5
1.5	72.5	1.5	75	73.5
3.0	65	3.0	65	65

Tabla 12. Valores de x para segundo y demás pasos, [1].

Para comprender mejor la aplicación de estas ecuaciones, se muestra a continuación un ejemplo descriptivo

Determinar la secuencia de embutido para obtener un cilindro con las dimensiones que se presentan en la figura 24. El material es de acero inoxidable con un espesor de 1.5mm.

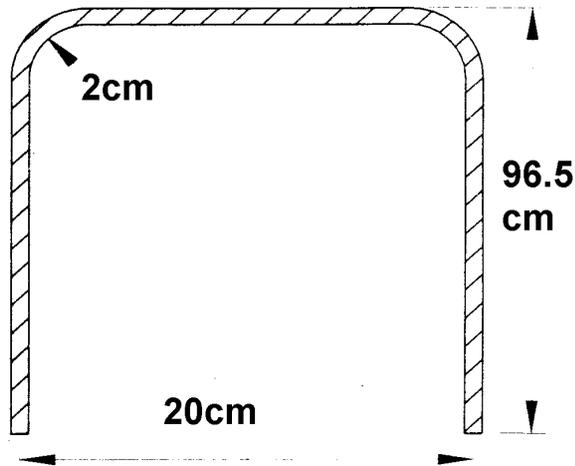


Figura 24. Medidas de la pieza a calcular

Primero se calcula el tamaño del disco a blank, sacándola de la tabla 8, se obtiene la ecuación 1

$$D_B = \sqrt{d^2 + 4d(h + 0.57r)} \quad \dots (1)$$

Donde:

$$\begin{aligned} d &= 20\text{cm} \\ h &= 96.5\text{cm} \\ r &= 2\text{cm} \end{aligned}$$

$$D_B = \sqrt{20^2 + 4(20)(96.5 + 0.57(2))}$$

$$D_B = 90.61 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el tamaño del disco, calculamos el primer paso de embutición, con la ecuación 4.

$$d_1 = \frac{X_1 D_B}{100 - 0.0250 D_B} \quad \dots (4)$$

Donde:

$$\begin{aligned} D_B &= 90.61\text{mm.} \\ X_1 &= 47 \text{ obtenido de la tabla 11} \end{aligned}$$

$$d_1 = \frac{47 \times 90.61}{100 - 0.0250 \times 91.27} = 43.890 \text{ mm}$$

Como no se obtuvo el diámetro deseado, se hace un segundo paso, con la ecuación 5

$$d_2 = \frac{X_{21} d_1}{100 - (0.0250 d_1)} \quad \dots (5)$$

Donde:

$D_1 = 43.89\text{mm}$.

$X_{22} = 75$ obtenido de la tabla 12

$$d_2 = \frac{75 \times 43.890}{100 - (0.0250 \times 43.890)} = 33.28\text{mm}$$

Ya que diámetro máximo obtenido es de 32.28 y nosotros deseamos el diámetro de 20, debemos realizar otro paso, con la misma ecuación 5.

$$d_3 = \frac{x_2 d_2}{100 - (0.25 d_2)} \quad \dots (5)$$

$$d_3 = \frac{75(33.28)}{100 - (0.25)33.28} = \mathbf{25.16 \text{ mm}}$$

El diámetro máximo de embutido es de 25.16, lo cual tampoco es apto para los 20, lo cual se repite un paso mas, y con la misma ecuación 5.

$$d_4 = \frac{x_2 d_3}{100 - (0.25 d_3)} \quad \dots(5)$$

$$d_4 = \frac{75(25.16)}{100 - (0.25)25.16} = \mathbf{18.98 \text{ mm}}$$

Por lo tanto, esta pieza se realizaría en cuatro pasos, ya que entre el tercero y el cuarto esta la medida que deseamos, es por eso que se toma el cuarto, sino estaríamos en el límite máximo de embutición y podríamos tener fisuras o grietas en el material.

IV.3 Radio de punzón y matriz

Para el buen funcionamiento de un embutido, el radio del canto redondeado de la matriz, o el radio de embutición, tienen una importancia muy grande, tanto para la calidad de las piezas, como para la distribución de las fuerzas.

La influencia del radio de embutición de la matriz se verá más claro comparando los dos casos extremos.

1. Haciendo $r=0$ se observa que la matriz de embutición se convierte en matriz de corte en la que, además, la chapa está guiada al máximo. Esta chapa será simplemente taladrada por el punzón, sin sufrir deformación alguna.
2. Haciendo el $r=$ máximo la chapa no será retenida, en absoluto, por el pisador y la embutición no será posible a causa de la formación de pliegues.

Por consiguiente, es necesario admitir que el valor conveniente del radio debe encontrarse entre estos dos límites y es la siguiente, ecuación 6

$$r = 0.8 \sqrt{(D - d)t} \quad \dots(6)$$

Donde:

D=diámetro del disco
d= diámetro de la pieza embutida
t= espesor del material

$$r_p = r_d = 0.8 \sqrt{(D_B - d_1)t}$$

$$r_{p1} = r_{d1} = 0.8 \sqrt{(91 - 43.89)1.5} = 6.72\text{mm}$$

$$r_{p2} = r_{d2} = 0.8 \sqrt{(43.89 - 33.28)1.5} = 3.19\text{mm}$$

$$r_{p3} = r_{d3} = 0.8 \sqrt{(33.28 - 25.16)1.5} = 2.79\text{mm}$$

Pero como se requiere un radio interno de 2.00 mm

$$r_{p4} = r_{d4} = 0.8 \sqrt{(25.16 - d_4)1.5} = 2.00\text{mm}$$

En conclusión: se realiza un quinto embutido para obtener el último paso para un diámetro de 20.00 mm y el radio interno de 2.00 mm, así mismo se deben calcular los claros entre matriz y punzón para cada paso del embutido y resultan los siguientes cálculos.

IV.4 Claro entre punzón y matriz

Las explicaciones precedentes ponen de relieve la influencia del juego existente entre el punzón y la matriz.

Es natural preguntarse, si el aumento del juego podría hacer la operación más fácil, disminuyendo el esfuerzo del punzón y los esfuerzos en la chapa. En efecto, la experiencia demuestra que el aumento del juego tiene una influencia favorable sobre el esfuerzo, pero, por otro lado, produce las siguientes inconvenientes:

1. El aumento sensible del juego provoca la deformación del perfil de las paredes, sobre todo en el caso del latón.

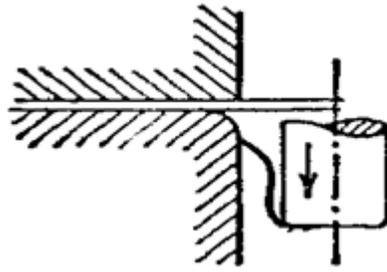


Figura 25. Deformación del perfil de la pieza embutida, [3].

Además, si el juego es demasiado grande, puede producir desviación del punzón, lo que provoca la formación de ondulaciones o lengüetas en el borde de la pieza embutida.

2. Puede producir pliegues en la pared de la pieza embutida.

Por otra parte, si el juego es menor que el espesor de la chapa, puede tener lugar a un aplastamiento o un adelgazamiento indeseable de la pared, con el riesgo de que se pueda romper la matriz.

Por ello el valor del juego debe estar bien determinado.

Entonces para poder tomar un dato entre estos dos extremos, tenemos la siguiente ecuación que es, ecuación 7

$$C_1 = t \sqrt{\frac{D_B}{d_1}} \quad \dots(7)$$

Donde:

C_1 = claro entre punzón y matriz

D_B = diámetro de blank

d_1 = diámetro del embutido

t = espesor de la chapa

Cuando se está hablando de un segundo paso la ecuación es la número 8

$$C_2 = t \sqrt{\frac{d_1}{d_2}} \quad \dots(8)$$

Donde:

C_2 = claro entre punzón y matriz de un segundo paso

d_1 = diámetro del primer paso

d_2 = diámetro de segundo paso

t = espesor de la chapa

IV.5 Presión para embutición

La presión necesaria para embutir una pieza cilíndrica depende primeramente de los diámetros de la pieza embutida y del disco primitivo, así como del espesor y calidad de la chapa. Depende de la presión del pisador, de la velocidad de embutición, del radio del embutido, del juego entre punzón y matriz y de la lubricación. Es bastante difícil tener en cuenta todos estos factores, y por este motivo, para el cálculo de la presión de embutición se emplea la ecuación 8.

$$P_p = \pi \cdot d \cdot e \cdot m \cdot k \quad \dots (8)$$

Dónde:

d = diámetro del punzón en milímetros

e = espesor de la chapa en milímetros

m = coeficiente que depende de la relación entre el diámetro del punzón y el diámetro del disco de partida: d/D

K = resistencia a la tracción de la chapa, en kg/mm^2

Las tablas 13 y 14 dan los valores de m y de k.

IV.6 Presión del pisador

La misión del pisador consiste, como ya se ha mencionado, en impedir la formación de pliegues hacia el borde de la chapa primitiva, mediante la acción de una presión adecuada.

Si esta presión es demasiado grande, la chapa queda frenada en exceso y puede producirse la rotura de la pieza embutida a la altura del radio de embutición de la matriz.

La consecuencia de una presión insuficiente del pisador sería la formación de pliegues en la pared de la pieza.

d/D	m	x
0,55	1,00	0,8
0,575	0,93	
0,6	0,86	0,77
0,625	0,79	
0,65	0,72	0,74
0,675	0,66	
0,7	0,6	0,7
0,725	0,55	
0,75	0,5	0,67
0,775	0,45	
0,8	0,4	0,64

Tabla 13. Coeficiente de relación con los diámetros, [3]

Material	k recocido	k duro
Plata	45	
Níquel	40-45	70-80
Cobre	21-25	
Latón	32	45
Bronce	40-50	75-90
Aluminio	7-11	18-28
Duraluminio	22-27	
Chapa de embutición	22-31	31-35
Chapa de carrocería	30-35	35-40
Acero inoxidable	60-70	
Zinc	16	22

Tabla 14. Diferentes tipos de materiales y sus respectivas resistencias a la tracción, [3].

Como presión media de pisador se admiten los valores siguiente tabla 15

Material	p kg/mm²
Aluminio	0,12
Zinc	0,15
Duraluminio	0,16
Latón	0,20
Acero inoxidable	0,20
Acero	0,25
Chapa estañada	0,30

Tabla 15. Porcentajes de presión para el pisador, [3].

La cifra dada en la tabla I, indica la presión unitaria estrictamente necesaria para evitar los pliegues. Por esa razón, es preferible tener una instalación hidráulica para poder regular la presión del pisador.

V. Desarrollo de una pieza embutida

Para ejemplificar todo lo propuesto en la metodología desarrollada, para ver su uso práctico en el desarrollo de una pieza.

Un cliente desea un sartén de acero inoxidable con las siguientes medidas que se presentan en el figura 26y con un radio de 4.8 milímetros y un espesor del acero de 0.49 milímetros.



Figura 26. Sartén y sus medidas

V.1. Desarrollo del blank de esta pieza

Tomamos la fórmula que se parezca a la pieza de la tabla 4.1, obtenemos lo siguiente:

$$\text{_____} \quad \dots(1)$$

Sustituyendo los datos

$$\text{_____}$$

$$\text{_____}$$

V.2. Numero de pasos para la embutición

Utilizando la fórmula 4(díámetro máximo de embutición):

$$d_1 = \frac{X_1 D_B}{100 - 0.0250 D_B} \quad \dots(4)$$

Donde:

$$D_B = 285.27\text{mm.}$$

X_1 = Sustituyendo y buscando el valor de X_1 en la tabla 11 con el calibre de 0.49mm es de 56 en acero inoxidable.

$$d_1 = \frac{56(285.27)}{100 - 0.025(285.27)}$$

$$d_1 = \frac{15975.12}{92.86}$$

$$d_1 = 172.04$$

Lo cual significa que en el primer paso lo máximo a reducir es 108.8mm y lo único que necesitamos es 220mm lo cual es mucha la holgura entre un diámetro y el otro y eso significa esta perfecto en un solo paso.

V.3. Medidas entre punzón y matriz

Para poder elaborar estas piezas debemos saber el claro entre punzón y matriz se emplea la ecuación 7.

$$C_1 = t \sqrt{\frac{D_B}{d_1}} \quad \dots(7)$$

Donde:

C_1 = claro entre punzón y matriz

D_B = diámetro de blank

d_1 = diámetro del embutido

t = espesor de la chapa

Sustituyendo

$$C_1 = 0.49 \sqrt{\frac{285.27}{220}}$$

$$C_1 = 0.558$$

Obteniendo el claro entre punzón y matriz, este claro se le reduce a la matriz ya que el punzón debe tener la misma medida que se requiere de la pieza.

Para el radio del punzón y la matriz es la misma que la de la pieza de 4.9 mm y las piezas quedan de la siguiente manera.

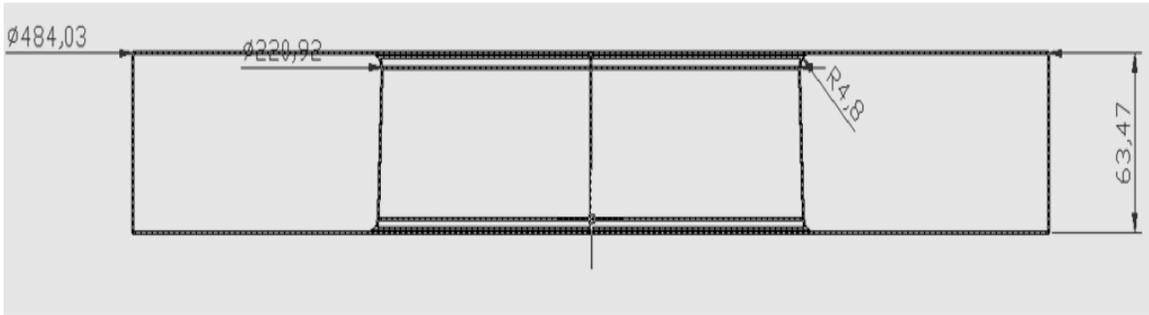
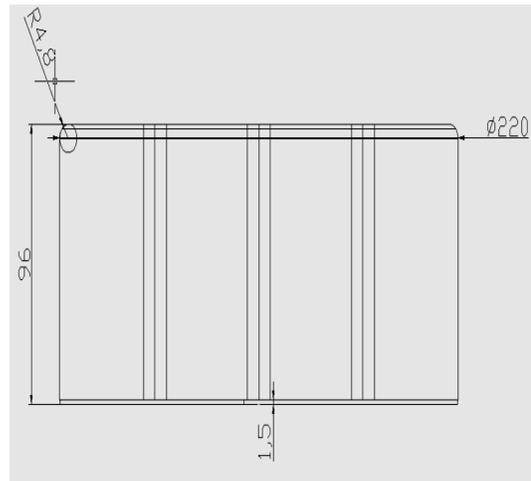
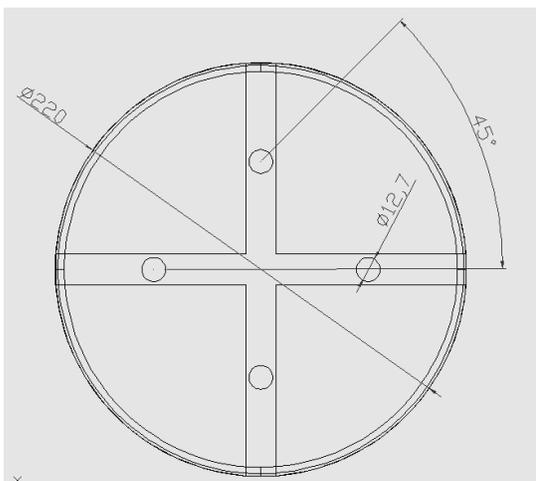


Figura 27. Matriz para sartén.

En la matriz se le hace un ángulo de salida interior, como es común en los moldes, este ángulo es de 2° y darle libertad al material una vez que es embutido se realiza. El diámetro exterior de la matriz es $\frac{1}{4}$ parte más que el disco de embutido para tener un apoyo uniforme figura 27.

Por otra parte el punzón se queda con la medida de la pieza que se desea realizar y se le pone el radio también de la pieza a embutir, como se observa en la figura 28 y en su altura se suma la altura de la pieza y la de la matriz para que tenga la carrera de la pieza.



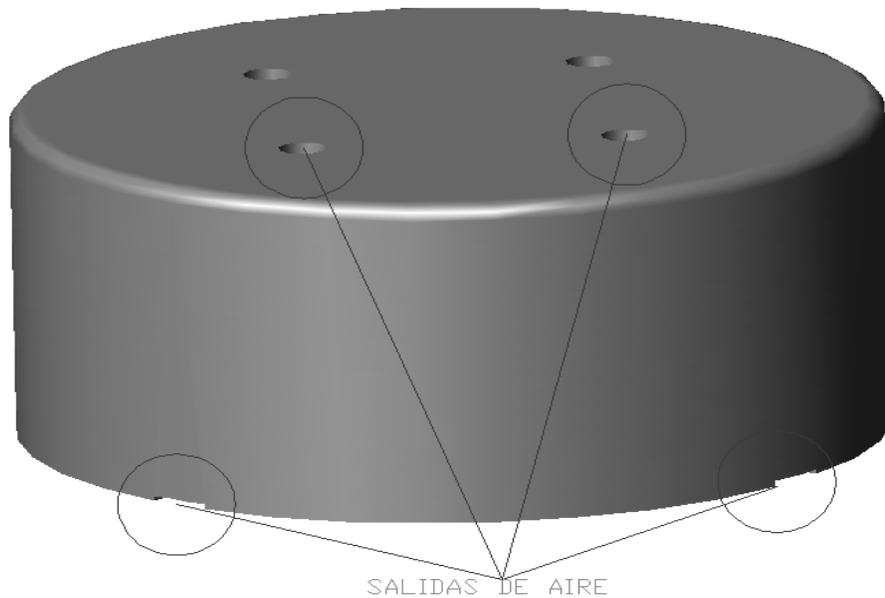


Figura 28. Punzón con las medidas para el sartén.

Las salidas de aire, son para evitar que se produzca vacío en la pieza y se pueda sacar fácilmente, en esta pieza está muy exagerado el número de barrenos ya que solo llevaría uno o acaso dos, pero esto es para que se pueda apreciar.

V.4. Presión del embutido

Como datos principales para obtener la presión y que poseemos son:

$$P_p = \pi \cdot d \cdot e \cdot m \cdot k \quad \dots(8)$$

Donde:

d= diámetro del punzón en milímetros que es de 220mm

e= espesor de la chapa en milímetros es de 0.49

m= coeficiente que depende de la relación entre el diámetro del punzón y el diámetro del disco de partida.

D=285.27; d= 220mm y haciendo la división de estos dos diámetros nos da un resultado de:

$$d/D = 0.78.$$

Buscando el dato en la tabla 5.1 encontramos el valor de m= 0.45.

Ahora necesitamos el valor de k y lo encontramos en la tabla 5.2 y sabiendo que es acero inoxidable 430 es martensítico y muy duro el valor de K=70.

Sustituyendo:

$$P_p = 3.1416 (220) (0.49) (0.45) (70)$$

$$P_p = 10,667.931 \text{ kg f}$$

V.5. Presión para el planchado

Para el cálculo se busca en la tabla 15, el acero inoxidable y se multiplica por la presión de embutido y nos da la presión del pisador.

$$P_1 = 10,667.931(0.20)$$

$$P_1 = 2,133.590 \text{ kg f}$$

En la figura 28 tenemos el diseño de la herramienta de embutido de la sartén con sus diferentes piezas como son: el punzón con sus salidas de aire para evitar el vacío y con la medida de la pieza que es de 220mm, esta la matriz con la tolerancia del claro que es de 220.558mm.

La matriz esta soportada por una campana para que trabaje y penetre el punzón. También se encuentra el planchador es flotante, esta sostenido por unas barras o pilares que permiten que suba o baje el planchador y se encuentran conectados con el pistón de éste.

Esta herramienta es montada en una prensa que contenga cojín (pistón para el planchador) y que cumpla con la capacidad de presión que requerimos que en este caso es de 15 toneladas aproximadamente.

Conclusiones

1. En los aceros inoxidables existe una gran variedad de aleaciones es por eso que para su mayor ubicación se clasifican en tres grandes grupos que son: martensíticos, ferríticos y austeníticos. Los austeníticos son los más utilizados en el proceso de embutición profundo, debido a sus características en especial el acero 304, aunque eso no significa que los ferríticos y martensíticos no puedan ser embutidos, solo que se tienen complicaciones en el proceso, o solo pueden ser utilizados para embutidos muy pequeños, con poca profundidad.
2. Pude saber cómo está conformado un molde de embutición, las piezas que tiene y para qué sirve cada una de ellas, así como los diferentes tipos de embutidos como es el de doble acción, el inverso, telescópico, entre otros. Pero contienen las mismas piezas pero de diferente forma y posición, el único diferente es el rechazado manual.
3. Con las formulas que obtuve pude realizar el desarrollo de una pieza, a embutir, ya que obtengo el tamaño del material que utilice, así como los pasos que realizo para esta pieza, la presión del punzón, la presión del planchador, el claro entre punzón y matriz y el radio que lleva el punzón y la matriz.
4. Finalmente, considero que el desarrollo de la pieza a embutir en el ultimo capitulo, es un ejercicio real para ayudar de quienes se dediquen al proceso de embutido o requieren de esta información: además e importante saber el tipo de material de acero inoxidable en este caso, ya que una mala elección del material, puede hacer que se tenga que cambiar la herramienta de trabajo o las presiones del punzón y de él planchador.

Bibliografía

- [1].- Manual del Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable, curso 2007. México D.F. 2007.
- [2].- Herman W. Pollack, (1981) "Maquinas herramientas y manejo de materiales" Editorial Prince Hall.
- [3].- Koninck, j. (1977) "Manual del técnico matricero." Editorial Monteso versión española por Juan J. Maluquer.
- [4].- Mario Rossi, (1979), "Estampado en frio de la chapa". Editorial Dossat 9ª edición, Madrid, España.
- [5].- Tomas Lopez Navarro, (1965), "troquelado y estampado con aplicaciones al punzonado, embutición y extrusión." Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- [6].- B.H. Amstead, Phillip F. Oswald,(1996) "Procesos de manufactura." Editorial Continental.
- [7].- B. Wassilieff, (1966), "Embutición" Editorial Hispano Europea, Barcelona, España.
- [8].- Lucchesi Domenico, (1973), "Tecnica de la forja, embutición, corte y soldadura." Editorial Labor.
- [9].- Dr. Salvador Mercado, (2008), "¿Cómo hacer una tesis?" Editorial Limusa, México, D.F.
- [10].- Marcos F., (1963), "Tecnología practica de embutición" Editorial River, Madrid.

Cybergrafía

- [11].- <http://www.monografias.com/trabajos23/embutido-chapas/embutido-chapas.shtml>, agosto de 2009, 20:00 hrs.